

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,  
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA KAFEDRASI

**“MOLEKULYAR FIZIKA”**

fanidan

**O' QUV – USLUBIY  
MAJMUA**

Bilim sohasi: 500000 - Tabiiy fanlar, matematika va statistika

Ta'lism sohasi: 530000 - Fizika va tabiiy fanlar

Ta'lism yo'nalishi: 60530900 - Fizika

Namangan 2023

O‘quv uslubiy majmua Namangan davlat universiteti Kengashining 2023 yil  
30 avgustdagи 1-sonli yig‘ilishi bayonnomasida tasdiqlangan fan dasturi asosida ishlab  
chiqilgan

**Tuzuvchi:**

**U.Boboho’jayev. NamDU fizika kafedrasi dosenti, f-m.f.n.**

**Taqrizchi:**

**A.Nabiiev. NamDU fizika kafedrasi dosenti, PhD**

Fanning o‘quv-uslubiy majmuasi Namangan davlat universiteti Fizika fakulteti  
Fizika kafedrasida muhokama qilingan hamda fakultet ilmiy kengashi tomonidan  
ko‘rib chiqish uchun tavsiya etilgan (2023-yil 28-avgustdagи 1- sonli bayonнома)

**Kafedra mudiri:**

**B.Abdulazizov**

Fanning o‘quv uslubiy majmuasi Namangan davlat universiteti Fizika fakulteti  
ilmiy kengashi tomonidan ko‘rib chiqilgan va foydalanishga tavsiya etilgan (2023-yil  
29-avgustdagи 1- sonli bayonнома)

**Fakultet dekani:**

**O.Ismanova**

## **MUNDARIJA**

1. Ma’ruzalar matni
2. Amaliy mashg’ulotlar
3. Laboratoriya mashg’ulotlar
4. Mustaqil ta’lim mashg’ulotlari
5. Glossariy
6. Ilovalar:
  - fan dasturi;
  - ishchi fan dasturi;
  - tarqatma materiallar;
  - testlar;
  - ishchi fan dasturiga muvofiq baholash mezonlarini qo’llash bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar;

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,  
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI  
FIZIKA KAFEDRASI

**«MOLEKULYAR FIZIKA » FANIDAN**

MA'RUZALAR MATNI

NAMANGAN 2023 y.

## **1-mavzu**

**Kirish.** Molekulyar fizikaga kirish. Modda haqida molekulyar –kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzulishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari

### **Reja:**

1. Kirish.
2. Moddiy nuqta modelini va absolyut qattiq jism qo'llash chegarasi.
3. Moddiy jism modeli.
4. Atomlarning va molekulalarning massalari.
5. Modda miqdori.
6. Moddalarning agregat holatlari.
7. Agregat holatlarning asosiy belgilari.
8. Ideal gaz modeli.
9. Dinamik usul.
10. Statistik usul.
11. Termodinamik usul.

### **Tayanch so'z va iboralar:**

Modda, atom, molekula, issiqlik harakati, dissotsiatsiya, atom yadrosi, electron, proton, nuklon, moddiy jism modeli, atomlarning va molekulalarning massalari, modda miqdori, moddalarning agregat holatlari, ideal gaz modeli. dinamik usul, statistik usul, termodinamik usul.

### **1. KIRISH**

Mexanika kursida jismlarning harakatini boshqaruvchi qonunlarni o'rghanayotganimizda biz bu jismlarning qanday tuzilganligi, ularning qanday xossalarga ega ekanligi bilan qiziqmadik.

Jismlarning massalari bor va ular aniq o'lchamlarga ega ekanligini bilishimizning o'zi ularning harakatini o'rGANISH uchun to'la ravishda etarli bo'ldi, chunki kuchlarning jismlarga ta'sir natijasi faqat shu xossalargagina bog'liq. Biroq ravshanki, jismlarning o'lchamlari va massasi ularning barcha xossalarni tushuntirib bera olmaydi. Atrofimizdagi jismlar bir-biridan faqat o'lchamlari va massalari jihatdangina emas, balki qator boshqa xossalari bilan ham farq qiladi. Agar bu boshqa xossalarning hammasi mexanikaviy harakatni o'rGANISHDA ahamiyatsiz bo'lsa, tabiatning boshqa hodisalari ular bilan chambarchas bog'liqdir. Jismlarning xossalari esa ularning qanday tuzilganligiga, qanday qismlardan tashkil topganiga, bu qismlar orasida qanday kuchlar ta'sir qilishiga va boshqalarga bog'liq. Shuning uchun moddaning tuzilishi haqidagi masala fizikaning asosiy masalalaridan biri hisoblanadi.

Fizika kursining ushbu qismida biz modda tuzilishini o'rGANISH borasida dastlabki qadamlar bo'lib, kelgusida tabiatshunoslikning hozirgi zamон fanida markaziy o'rin olgan eng muhim masalasini batafsil o'rGANISHGA imkon beradi.

### ***Modda haqida molekulyar-kinetik tasavvurlar***

Kundalik turmushimizda uchraydigan jismlar (Ayniqsa qattiq va suyuq jismlar) bizga yaxlit, ya’ni ularni tashkil qilgan modda bilan butunlay to’ldirilgandek tuyuladi. Atrofimizdagи tashqi muhit bevosita ta’sir qiluvchi bizning sezgi organlarimiz shunday tuzilganki, moddaning bir butunligi, uzlucksizligi bizga uning asosiy va shubhasiz xossasidek tuyuladi. Holbuki, juda ilgaridan ma’lum bo’lgan qator xodisalar shundan darak beradiki, jismlarni bir butun, uzlucksiz deb qabul qiluvchi bizning sezgi organlarimiz shubhasiz jismlarning asl xossalariiga nisbatan yanglish tasavvur beradi.

Masalan, tashqi ta’sir ostida yoki isitish va sovitish natijasida jismlar o’z hajmlarini o’zgartirishi – kengayishi yoki torayishi mumkin ekanligi hammaga ma’lum. Bu barcha jismlarga taalluqli bo’lib, turli jismlar uchun turlichadir. Agar jismlarni bir butun (yaxlit) deb olinsa, jismni tashkil qilgan modda uning butun hajmini to’ldirib olgan deb hisoblansa, jismlar hajmining bunday o’zgarishini tushunish qiyin bo’ladi. Agar aslida jismlar bizga tuyulgandek emas, ya’ni bir butun emas, balki ular juda ko’p, faqat oddiy ko’z bilangina emas, hatto eng yaxshi mikroskop bilan ham ko’rib bo’lmaydigan darajada mayda zarralardan tashkil topgan deb faraz qilinsa, jismlar hajmining o’zgarishini hech bo’lмагanda sifat jihatidan oson tushuntirish mumkin. Bu zarralar bir-biriga nisbatan zich emas, balki ma’lum masofada joylashgan. Agar bu faraz qabul qilinsa, jismlarning hajmlari o’zgarishini zarralar orasidagi masofaning o’zgarishi bilan izohlash mumkin. Moddaning bunday mayda zarralari **molekulalar** deb ataladi (molekula massani anglatuvchi lotincha so’zning kichraytirish ma’nosida ishlatilgani).

Moddaning uzlukli, molekulyar tuzilishi haqidagi tasavvur eng qadim zamondayoq paydo bo’lgan edi. Biroq bunday tasavvur uzoq vaqt davomida ulug’ mutafakkirlarning taxmini, qandaydir gipoteza tarzidagi tasavvur bo’lib keldi. Bizning davrimizda u minglab eksperimentlar yordamida tekshirilgan mukammal nazariyaga aylandi. Molekulalarning real mavjudligi haqidagi ko’pdan-ko’p bevosita va bilvosita dalillar modda tuzilishi to’g’risidagi molekulyar tasavvurlarni aniq tasavvurlar deb hisoblashga imkon beradi. Bu tasavvurlarning aniqligi esa Kopernik sistemasining aniqlik darajasi bilan bemalol raqobatlasha oladi.

Ko’plab faktlar modda molekulalari orasida zarralar orasidagi masofaga bog’liq bo’lgan itarishish va tortishish kuchlari mavjuddir degan fikrga olib keladi. Masalan, qattiq jism hajmining ozgina o’zgarishdayoq, unda anchagina katta kuchlar paydo bo’lishidan ham anna shunday xulosaga kelish mumkin. Jismning cho’zilishiga uning molekulalari orasidagi tortishish kuchlari, siqilishiga esa itarishish kuchlari to’qinlik qilishi ravshan. Moddaning uch agregat holati - qattiq, suyuq va gaz holatining mavjudligi molekulalararo kuchlarning borligini ko’rsatadi. qattiq va suyuq holatlarda molekulalar bir-biriga shunchalik tortiladiki, jismlar o’zlarining hajmini, qattiq jismlar holida esa o’z shaklini ham saqlaydi. Gazsimon holatda esa o’zaro ta’sir kuchlari ancha kichik bo’ladi, shuning uchun hajm har qancha katta bo’lsa ham solingen gaz butun hajmni egallaydi.

Gazning bu xossasi (boshqa ko’plab xossalari qatori) modda zarralarining Yana bir muhim xususiyatini ko’rsatadi. Gazning o’zi solingen idishning butun hajmi bo’ylab tarqalish xususiyati gaz molekulalarining doimo harakatda bo’lishini bildiradi.

Gazning qator xossalari molekulalarning bunday harakatining mutlaqo tartibsiz, xaotik bo'lishini ko'rsatadi. Bu degan so'z, zarralarning harakatlanishi uchun boshqalardan biror afzalligi bilan farq qiluvchi qandaydir yo'naliш yo'q demakdir (molekulyar harakat xaotikligining yanada aniqroq ta'rifi keyinroq beriladi). Molekulalarning bunday xaotik harakati **issiqlik harakati** deb ataladi. Modda molekulalarining issiqlik harakatida bo'lish xossasi, albatta, moddaning faqat gazsimon holatigagina taalluqli emas. Abadiy uzluksiz harakat holati, suyuqliklar va qattiq jismlar molekulalariga ham tegishli, biroq suyuqliklar va qattiq jismlarda molekulyar harakatning xarakteri gazlardagiga qaraganda boshqacharoq bo'ladi. Shunday qilib, modda juda mayda zarralardan – molekulalardan tuzilgan bo'lib, bu molekulalar bir-biri bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi va uzluksiz, tartibsiz harakatda (issiqlik harakatida) bo'ladi.

Moddaning ba'zi holatlarida (masalan, plazmada, ba'zi kristallarda) molekulalardan manfiy zaryadlangan zarralar – elektronlar ajralib chiqadi. Bunda molekulalar musbat zaryadlangan zarralar – ionlarga aylanadi. Bunday holda issiqlik harakatida ionlar ham, elektronlar ham ishtirok etadi.

Barcha moddalarni tashkil qilgan zarralarning o'zi qandayq

**Molekula** – moddaning barcha ximiyaviy xossalari o'zida mujassamlashtirgan eng kichik zarrasidir. Masalan, suv molekulasing yarmi to'g'risida gapirish ma'nosizdir, buning sababi molekulaning bo'linmasligida emas, balki shundaki, suv molekulasi maydalansa, bunda hosil bo'lgan zarralar endi suv zarralari bo'lmaydi. Molekulalarning o'zi yanada oddiyroq zarralar – **atomlardan** tuzilgan bo'ladi. Karbonat angidrid gazining molekulasi, masalan, uch atomdan: bir atom karbon va ikki atom kislordan tarkib topgan. Turli xil molekulalar soni juda ko'p (milionlab) bo'lsa-da, turli xildagi atomlar esa uncha ko'p emas. Hozirgi vaqtida atomlarning 105 xili ma'lum, tabiatda ularning 88 xili uchraydi, qolgan 17 xili esa keyingi yillarda sun'iy yo'llar bilan hosil qilingan. Bular *ximiyaviy elementlarning atomlaridir*. Ximiyaviy elementlarning atomlari bir-birlari bilan turlicha kombinatsiyada birikib, atrofimizni o'rab olgan olamdag'i turli moddalarning molekulalarini hosil qiladi.

Ba'zi hollarda molekulalar kam sonli bir xildagi atomlardan tuzilgan bo'ladi. Masalan, odatdagi sharoitda ba'zi gazlarning molekulalari – kislordning ( $O_2$ ), vodorodning ( $N_2$ ), azotning ( $N_2$ ) va hokazo molekulalari shunday tuzilgan, bu molekulalar tegishli ximiyaviy elementning ikki atomidan tashkil topgan.

Biz «odatdagi sharoitda» deb qayd qilib o'tdik, chunki molekulalarni ularni tashkil qilgan atomlarga parchalanish mumkin. Molekulalarni bunday parchalash protsessii **dissotsiatsiya** deb ataladi. Molekulalarni yuqori temperaturada yoki ba'zi boshqa tashqi faktorlar ta'sirida dissotsiatsiyalash mumkin.

Molekulalar va atomlarning o'lchamlari nihoyatda kichikdir. Agar bu zarralarni kichik sharchalar tarzida tasavvur qilsak, ularning radiusi taqriban  $10^{-8}$  sm ga teng bo'ladi. Biz buni keyinroq hisoblab chiqaramiz. Ayni vaqtida zarralar soni haddan tashqarii ko'p. Masalan, bir gramm suvda  $3,3 \times 10^{22}$  ta molekula bor. Molekulalar soni va o'lchamlarini eksperimental aniqlash usullari kursning tegishli joyida bayon qilinadi.

Molekulyar fizika predmeti moddaning juda ko'p sonli harakatlanuvchi molekulalar to'plamidan iborat ekanligidan kelib chiqadigan xossalari o'rghanishdir.

### **Atomlar qanday tuzilgan**

Atomlarda elektr zaryadlangan zarralar borligini ko'rsatuvchi ko'plab faktlar mavjud. Avvalo, bu elektr va magnit hodisalarning mavjudligidan kelib chiqadi. Ma'lumki, elektr hodisalar jismlarning alohida hossasi – elektr zaryadlar bilan, magnit hodisalar esa xarakatlanuvchi zaryadlar (elektr toklari) bilan bog'liq. Elektr va magnit xossalalar jismlarda hamma vaqt bo'lishi, barcha jismlar esa atomlardan tashkil topganligi sababli atomlarda harakatlanuvchi elektr zaryadlar bo'lishi shubhasiz.

Hozirgi gvaqtida atomlarda harakatlanuvchi zaryadlangan zarralarning borligining emas, atomning «arxitekturasi» ham aniq ifodalab berilgan. Biroq, atomlar tuzilishining hozirgi zamon manzarasini keltirishdan avval atom ichida bo'ladigan protsesslarni boshqaruvchi qonunlar haqida ozgina gapirib o'tish zarur. Bunday protsesslarni o'rghanishda ularni odatdagi (klassik mexanika deb ataluvchi) mexanika yordamida to'la tavsiflash mumkin emasligi ravshan bo'lib qoldi. Buning ustiga ular uchun harakat haqidagi odatdagi tasavvurlarni mutlaqo qo'llab bo'lmas ekan. Buning ajablanarli joyi yo'q, chunki klassik mexanika biz ko'ra oladigan va sezaga oladigan katta masshtabdagi jismlarning harakatiga doir kuzatishlar asosida yaratilgan. Atomlarning tashkil qilgan zarralarning o'lchamlari atomlarning o'zidan ham kichik. Ularning o'lchamlari  $10^{-13}$  sm tartibida, ya'ni optikaviy mikroskopda ko'rindigan zarradan yuz millionlab marta kichik. Bu zarralarning massasi esa  $10^{-22}$  dan  $10^{-27}$  g gacha bo'ladi. TaqQoslash uchun shuni ko'rsatish mumkinki, hozirgi zamon eng yaxshi tarozilarida massasi bundan  $10^{16} - 10^{21}$  marta katta bo'lgan zarralarning tortish mumkin.

Tajriba ma'lumotlari atom zarralarining o'z harakati xarakter iva boshqa hossalarga ko'ra mexanikada o'rjaniladigan odatdagi jismlardan sifat jihatidan farq qilishini ko'rsatadi.

Atomni tashkil qilgan zarralarning alohida xossalari – kvant xossalari bo'ladi va ular **kvant mexanikasi** qonunlariga bo'y sunadi. Bu qonunlar shundayki, ular yordamida atom sistemasi va uning harakatlarining aniq va Ayni gvaqtida ayoniyligini berib bo'lmaydi, ya'ni bunday tavsif bilan atom sistemasining ayoniyligini deb ataluvchi tushuncha bilan bog'liq bo'lgan geometrik va mexanikaviy obrazlarini berish mumkin emas. SHuning uchun biz bu yerda ayonroq bo'lsin uchun qat'iy aniqlikni nazarga olmasdan, atom tuzilishining ko'polroq, avvaldanoq noto'g'ri, biroq mexanikaviy manzaraga o'xshash manzarasini berishga majburmiz.

Bunday «mexanikalashtirilgan» modelga muvofiq atom modeli planetalar sistemasining jajji modeliga o'xshatiladi. Uning markazida «Quyosh» - musbat zaryadlangan **atom yadrosi** joylashgan bo'lib, uning atrofida «planetalar» - manfiy zaryadlangan zarralar – **elektronlar** aylanadi. Elektron zaryadiga teng (absolyut kattaligi jihatidan) bo'lgan elektr zaryadi elektr zaryadining o'ziga xos «atomi» bo'ladi: tabiatda elektron zaryadidan kichik bo'lgan elektr zaryadlari mavjud emas, barcha (ularning soni esa hozirgi gvaqtida bir necha o'nlab) elementar zarralar ham, XSSALARI va tabiat qanday bo'lmasin, yoki mutlaqo zaryadga ega bo'lmaydi,

yoki elektron zaryadiga teng ( $1.6 \times 10^{-19}$  kulon), yoki unga karali bo'lgan zaryadga ega bo'ladi. Har qanday elektr zaryadi – manfiymi yoki musbatmi – shaksiz elektron zayardiga karali bo'ladi, shuning uchun elektron zaryadi elektr zaryadining o'ziga hos birligi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Yadro va elektronlar orasida ta'sir qiluvchi elektr tortishish kuchlari elektronlarni yadro atrofida ushlab turadi va «haqiqiy» alanetalar sistemasida butun olam tortishish kuchlari qanday rol o'ynasa, bu kuchlar atomda shunday rol o'ynaydi.

Turli ximiyaviy elementlarning atomlarida elektronlar soni turlicha bo'ladi. Ular bir-biridan ana shu bilan farq qiladi. Biroq ularni farq qiluvchi narsa faqat shu emas. Normal sharoitlarda atomlar elektr jihatdan neytraldir, shuning uchun biror elementning atomida qancha elektron bo'lmasin, bu elektronlarning umumiyligi zaryadi son jihatidan atom yadrosining musbat zaryadiga teng bo'lishi kerak. Demak, turli elementlarning atomlari faqat yadroni o'rabi turgan elektronlarining soni bilangina emas, balki yadro zaryadining kattaligi bilan ham bir-biridan farq qilar ekan. Bunda, farq elektronlar soniga ko'ra qilinadigan farqdan ahamiyatiroq bo'lishini biz ko'ramiz.

D.I. Mendeleevning davriy sistemasida elementlar atom yadrolarining zaryadi ortib borish tartibida joylashtirilgan. Bu jadvalda elementning tartib nomeri  $Z$  atom yadrosining musbat zaryadi elektronning zaryadidan necha marta katta ekanligini ko'rsatuvchi sondir. Yadro zaryadi absolyut kattaligi jihatidan  $Z_{e_0}$  ga teng, bu yerda  $e_0$  – elektronning zaryadi. Demak, Mendeleev jadvalida elementning tartib nomeri atom elektr jihatidan neytral bo'lganda bevosita atomdagi elektronlar sonini beradi. Atomning elektr jihatidan neytral bo'lish shartining ahamiyati katta, chunki atomda yadro zaryadini kompensatsiya qilish uchun kerak bo'lganidan ko'ra ko'p yoki kam elektronlar bo'lishi mumkin. Gap shundaki, atomdan bir yoki bir necha elektronni uncha katta kuch ishlatmasdan ajratib olish mumkin, chunki tashqi, yadrodan eng uzoqda turgan elektronlar yadro bilan nisbatan zaif bog'langan bo'ladi. Elektronlarni bunday ajratib olishda yadroda hech qanday o'zgarish bo'lmaydi, biroq uning zaryadi qolgan elektronlarning zaryadi bilan kompensatsiyalanmaydi va atom neytral bo'lmay qoladi, u musbat zaryadlangan ionga ayylanadi. Ikkinchini tomonidan, neytral atomga «ortiqcha» elektron qo'shilishi ham mumkin, bu holda ham yadro zaryadi o'zgarmay qolgani uchun atom manfiy zaryadlangan ion bo'lib qoladi.

Atomlarni turli usullar bilan, masalan, jismlarni ishqalash, qizdirish, yoritish bilan, katta tezlikli zarralar zarbasi bilan, ximiyaviy reaksiya natijasida va hokazo usullar bilan ionlashtirish mumkin. Atom uning barcha elektronlarini ajratib olish ham mumkin, ammo ko'p elektronli atomlarda bunday batamom ionlashtirish uchun faqat tashqi elektronlarni ajratib olish ham mumkin, ammo ko'p elektronli atomlarda bunday batamom ionlashtirish uchun faqat tashqi elektronlarni ajratib olishdagidan ko'ra ancha kuchli ta'sir kerak bo'ladi.

Atomlarni tashkil qilgan zarralar – elektronlar va yadrolar taxminan bir xil o'lchamga –  $10^{-13}$  sm ga yaqin bo'ladi, holbuki Ayni vaqtida atom butunicha  $10^{-8}$  sm ga yaqin o'lchamga ega. Demak, quyosh sistemasini tashkil qilgan planetalar va

quyoshning o'lchami planetalar orbitalarining radiuslariga nisbatan kichik bo'lgani kabi atomni tashkil qilgan zarralar uning o'zidan ancha kichik bo'ladi.

Atom zarralarining massasiga kelganda esa yadrolar va elektronlar bir-biridan katta farq qiladi. Atomning deyarli hamma massasi uning yadrosida to'plangan va elektronlar uchun atom massasining minglardan bir ulushi to'g'ri keladi. Masalan, temir atomi yadrosining massasi taxminan  $9 \times 10^{-23}$  g ga teng, temir atomidagi 26 ta elektronning hammasining massasi  $2,3 \times 10^{-26}$  g ga teng, shuning uchun temir atomi yadrosining massasi atomdagi elektronlar massasidan 4000 marta katta.

Atom yadrosining o'lchamlari nihoyatda kichik bo'lishiga qaramasdan, u murakkab tuzilishga ega. U ikki tur zarralardan: zaryadi son jihatidan elektronning zaryadiga teng bo'lgan musbat zaryadli **protonlardan** va zaryadsiz **neytronlardan** tuzilgan; yadro zarralarining bu ikki turi ko'pincha bitta nom bilan **nuklonlar** deb ataladi. Bu zarralarning massalari taxminan bir xil va  $1,7 \times 10^{-24}$  g ga teng. Ravshanki, yadrodagи protonlar soni atomning elektron qobig'idagi elektronlar soniga teng (atom neytral bo'lganda) bo'ladi.

Yadrodagи protonlar soni, binobarin, elementning Mendeleev jadvalidagi tartib nomeriga teng va atomning ximiyaviy jihatdan individuallagini elektronlar soni emas, yadrodagи protonlar soni belgilaydi (elektronlar sonini oson o'zgartirish mumkinligini biz ko'rdik). Masalan, agar temir atomidan uning 26 ta elektronidan bittasi ajratib olinsa, ion, ya'ni temir ionii hosil bo'ladi. Biroq temir atomi yadrosidan bitta proton ajratib olinsa (shunday qilish ham mumkin, biroq bu batamom boshqa vositalar bilan amalga oshiriladi), u holda atomning xossalari tubdan o'zgarib ketadi – temir atomi marganets atomiga aylanadi.

Neytronlarga kelganda ularning soni ayni bir atomlar yadrolarida turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, temir atomi yadrosida 26 ta protondan tashqari 30 ta neytron bor (bu temirning eng ko'p tarqalgan yadrosi, bunday yadrolar soni odatdagи temirda 91,7% bo'ladi). Biroq temirning shunday yadrolari ham borki, ularda protonlar soni 26 bo'lgani holda neytronlar soni 28, 31 va 32 ga teng. Bularning hammasi – temir yadrolari va xuddi shunday turli xil yadroli atomlarning ximiyaviy xossalari mutlaqo birday bo'ladi. Faqat ularning massalari birday emas. YAdrolari ulardagi neytronlar soni bilangina farq qiladigan atomlar **izotoplар** deb ataladi. Agar atom-izotoplarni turli atomlar deb hisoblanadigan bo'lsa, u holda ularning soni anchagina ko'p va hozirgi gvaqtida 1200 ga etadi. SHu narsani aytib o'tish kerakki, garchi izotoplarning atomlari o'zlarining ximiyaviy xossalari jihatidan bir-biridan farq qilmasa ham, ular yadrolarining ba'zi xossalari bir-biridan tamoman farq qilishi mumkin.

Yadro zarralari (protonlar va neytronlar) yadroda bir-birlari bilan maxsus tortishish kuchlari – yadro kuchlari bilan bog'langan bo'lib, yadro kuchlari elektr kuchlari ham, gravitatsiya kuchlari ham emas. Kattaligi jihatidan ular elektronlar va yadroni bog'lab turgan elektr kuchlaridan millionlab marta kattadir. Huddi shu yadro kuchlari atom energiyasi manbai hisoblandi. Bu kuchlarning muhim xususiyati shundaki, ular faqat nuklonlar orasidagi masofa juda kichik – yadro o'lchamlari tartibida bo'lgandagina ta'sir qiladi. Masofa ortgan sari bu kuchlar keskin kamayadi.

SHuning uchun yadro kuchlarini ko'pincha yaqindan ta'sir qiluvchi kuchlar deb ataladi.

### ***Kvant sistemalarining ba'zi xususiyatlari***

Atom zarralari alohida qonunlar – kvant mexanikasi qonunlariga bo'ysunadi. Bu qonunlarning klassik fizika qonunlaridan farq qiluvchi asosiy xususiyati shundaki, zarraning atomdag'i harakatini xarakterlovchi kattaliklar (masalan, energiya va impuls) ixtiyoriy emas, faqat batamom aniq qiymatlар qabul qilishi mumkin. qolgan boshqa barcha qiymatlari taqiqlangan bo'ladi. Masalan, biz atom tuzilishining yuqorida keltirgan manzarasidan (bu manzara albatta ancha eskirib qolgan) foydalansak, u holda biz elektronlarning yadro atrofida aylanish orbitalarining radiuslari faqat aniq tanlangan qiymatlarga ega, boshqa orbitalarda esa elektron hech qanday sharoitda ham bo'la olmaydi, deb aytishimiz kerak.

Elektron mumkin bo'lган (ruxsat berilgan) orbitalarning biridan ikkinchisiga o'tishi mumkin, biroq bunday o'tish odatdag'i mantiiq nuqtai nazaridan g'oyatda g'alati bo'lishi kerak: elektron bir orbitadan ikkinchi orbitaga o'tishida oraliq vaziyatlardan birortasida ham bo'la olmaydi. O'tish, sakrash bilan amalga oshishi kerak. Elektron go'yo bir orbitada yo'qoladi va boshqa orbitada paydo bo'ladi. Ravshanki, odatdag'i mexanika qonunlariga bo'ysunadigan zarra bunday qilib «sakrashi» mumkin emas. Xullas, yuqorida ko'rsatib o'tganimizdek, atomning biror planetaga o'xshash sistema tarzidagi manzarasi atomning haqiqiy tuzilishini aks ettirmaydi va bunday manzaradan yaxshisi mutlaqo voz kechgan ma'qul, uni bu darajada ayoniy bo'lmasa ham boshqa manzara bilan almashtirish kerak.

Atomning bayon qilingan mexanikaviy modeli orbitalarga elektron energiyasining ma'lum (aniq) qiymatlarini qiyos qilish mumkin, chunki elektron tortishish kuchlari ta'sirida yadroga qarab harakatlanar ekan, turli orbitalarda turlicha kinetik va potentsial energiyaga ega bo'ladi. SHuning uchun elektron aylanadigan orbitalar deyish o'rniga elektron bo'lishi mumkin bo'lган **energetik sathlar** deb gapiriladi. Biz avval elektronning bir orbitadan ikkinchi orbitaga o'tishi deb gapirganimizdagi o'tish, aslida fazodagi o'tish emas, energetik o'tishdir: biror qiymatli energiyali holatdan boshqa qiymatli energiyali holatga o'tishdir. Bunday o'tishlar ham sakrash bilan amalga oshadi: elektronning energiyasi barcha oraliq qiymatlarni chetlab birdaniga ma'lum kattalikka (kvantga) o'zgaradi. Klassik mexanikada bunday sakrashlar ma'nosizdir. Bizga atom tuzilishi to'g'risidagi tasavvurlardan foydalanishga to'g'ri kelganda, biz elektron orbitalari emas, balki energetik sathlar kotseptsiyasidan foydalanamiz.

Atomlar ikki xil ishorali elektr zaryadli zarralardan iborat bo'lgani uchun ular orasida tortishish kuchlari ham, itarishish kuchlari ham ta'sir qilishi kerak. Biroq har bir atomda zaryadlangan zarralar soni ko'p bo'lgani uchun bu kuchlarning xarakteri juda murakkab.

### **Mustahkamlash uchun savollar**

1. Fizika fani nimani o'rganadi?
2. Materiya turlariga misollar keltiring.
3. Fizika fani yutuqlarining boshqa fanlar taraqqiyotiga ta'siri.

4. Xalqaro birliklar tizimidagi asosiy fizik kattaliklar nimalardan iborat?
5. Fizik qonun qanday yaratiladi?
6. Fizik tadqiqot usullari nimalardan iborat?
7. Fizika va falsafa fanlarini o‘zaro munosabatlarini tushuntiring.
8. Birliklarning Xalqaro sistemasi qachon qabul qilingan?
9. Xalqaro birliklar sistemasidagi qaysi birliklar qo‘sishimcha birlik deb hisoblanadi?
10. Fizika nechta tarkibiy qismlarga bo‘linadi va qanday bo‘limlardan iborat?

## **2-mavzu.**

**Modda xossalari. Moddaning xossalari o’rganishdagi dinamik, statistik va termodinamik usullari.**

**Reja:**

1. Moddaning xossalari.
2. Moddaning xossalari o’rganishdagi dinamik, statistic va termodinamik usullari.
3. Makroskopik sistema parametrlari.

**Tayanch so’zlar: bosim, hajm, temperatura, xaotik harakat, dinamik, statistic va termodinamik usullar, makroskopik tizim, makroskopik parametr.**

Molekulyar fizika va termodinamika - bu juda ko‘p miqdordagi atomlar va molekulalar bilan bog’liq makroskopik jarayonlarni o’rganadigan alohida fiziklar. Ushbu jarayonlarni o’rganish uchun bir-biridan tubdan farq qiluvchi ikkita (bir-birini to’ldiruvchi) usullardan foydalaniladi: statistik (molekulyar-kinetik) va termodinamik.

Molekulyar fizika - barcha jismlarning uzluksiz xaotik harakatda bo’lgan molekulalardan iborat bo’lishiga asoslanib, molekulyar-kinetik tushunchalar asosida materianing tuzilishi va xususiyatlarini o’rganadigan fizika bo’limi. Molekulyar fizikada o’rganilayotgan jarayonlar juda ko‘p miqdordagi molekulalarning birgalikdagi ta’sirining natijasidir. Ko‘p sonli molekulalarning hatti-harakat qonunlari statistik usul yordamida o’rganiladi, bu makroskopik tizimning xususiyatlari tizim zarralari xossalari, ularning harakatining o’ziga xos xususiyatlari va o’rtacha ushbu zarralarning dinamik xususiyatlarining qiymatlari (tezlik, energiya va boshqalar). Masalan, tananing harorati uning molekulalarining xaotik harakatining o’rtacha tezligi bilan belgilanadi va bitta molekulaning harorati haqida gapirish mumkin emas. Termodinamika - bu fizikaning termodinamik muvozanat holatidagi makroskopik tizimlarning umumiy xususiyatlarini va ushbu holatlar orasidagi o’tish jarayonlarini o’rganadigan bo’limi. Termodinamika ushbu

transformatsiyalar asosida yotgan mikroprotsesslarni hisobga olmaydi, balki termodinamikaning ikkita printsipiga asoslanadi - eksperimental ravishda o'rnatilgan asosiy qonunlar. Fizikaning statistik usullarini fizika va kimyoning ko'plab sohalarida qo'llash mumkin emas, termodinamik usullar esa universaldir. Biroq, statistik usullar moddaning mikroskopik tuzilishini o'rnatishga imkon beradi, termodinamik usullar esa faqat makroskopik xususiyatlar orasidagi aloqalarni o'rnatadi. Molekulyar kinetik nazariya va termodinamika bir-birini to'ldiradi, yaxlit butunlikni tashkil qiladi, ammo tadqiqot usullari bilan farq qiladi. Agar sistema faqat bitta yoki son jihatidan cheklangan jismlardan yoki jism qismlaridan tashkil topgan bo'lsa, dinamik qonuniyatlaridan foydalanib sistemadagi fizik hodisalar va jarayonlarni o'rganish mumkin. Alovida olingen atom va molekula harakati ham dinamika qonuniyatlariga bo'ysunadi. Shuning uchun 1 sm<sup>3</sup> hajmdagi tartibsiz harakatlanayotgan molekulalar bilan bog'liq hodisalarni dinamik qonuniyatlar asosida tekshirish mumkin. Buning uchun, avvalo, alovida olingen molekulalarni o'rganib chiqib, keyin hamma molekulalarning fazodagi o'rinarini, tezliklarini, ular orasidagi o'zaro va idish devoriga ko'rsatayotgan ta'sir kuchlarining xarakterlarini aniqlash mumkin. Chunki, bir sekunda bir millionga yaqin amalni bajaradigan elektron hisoblash mashinasida 1 sm<sup>3</sup> dagi barcha molekulalarning o'rinarini va tezliklarini qayd qilish uchun kamida 6 million yil sarflanishi kerak. Bunday hollarda alovida matematik usulga - statistik usulga tayanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Statistik usul ehtimollik nazariyasidan foydalanishga asoslangan. Statistik usul bir-biriga o'xshagan juda ko'p, lekin bir-biridan mustaqil bo'lgan hodisalar to'plamini tekshirish uchun qo'llaniladigan usuldir. Juda ko'p sonli zarrachalardan tashkil topgan sistemaning fizik xususiyatlarini statistik usuldan foydalanib o'rganuvchi fizikaning bo'limi - statistik fizika deb ataladi.

Statistik usul yordamida tabiat hodisalarini yetarlicha chuqr va aniq tekshirish mumkin bo'lganligi uchun bunga asoslangan statistik fizika hozirgi davrda fizika fanining turli sohalariga muvoffaqiyatli tadbiq etilmoqda. Masalan, molekulyar fizikada issiqlik hodisalarini; elektromagnetizmda jismlarning elektr o'tkazuvchanlik va magnit xususiyatlarini; optikada issiqlik nurlanish va boshqa hodisalarni statistik fizika asosida o'rganiladi. Fizik hodisalar va jarayonlarni o'rganadigan dinamik va statistik usuldan tashqari termodinamik usul ham mavjuddir. Statistik usuldan farqli termodinamik usul jismlarni va tabiat hodisalarni makroskopik xossalarni, ularning mikroskopik manzarasiga, ya'ni o'rganilayotgan sistemaning ichki tuzilishi va sistemani tashkil etuvchi qismlarining harakat holatlariga e'tibor qilmay o'rganadi. Fizik hodisalarga termodinamik usulni qo'llash imkoniyati ularda energiyaning bir turdan boshqa turiga aylanish jarayonlari bilan bog'likdir. Jismlarning fizik xususiyatlarini termodinamik usul bilan o'rganadigan

fizikaning bo'limiga termodinamika deb ataladi. Termodinamika tajribalaridan aniqlangan juda ko'p ma'lumotlarni umumlashtirgan ikki fundamental qonunga tayanadi. Shunday qilib, mikroskopik zarrachalaridan tashkil topgan sistemaga oid tadqiqotlarda har ikkala usul ham statistik va termodinamik usullar keng qo'llaniladi va ular o'zaro bir-birini to'ldiradi. Juda ko'p sonli atom va molekulalardan tashkil topgan sistema - ***makroskopik sistema*** deb ataladi. Makroskopik sistema holatini to'la ravishda aniqlay oladigan fizik kattaliklar ***makroskopik parametrlar*** deb ataladi. Shu parametrlar va ularning o'lchov birliklari bilan tanishaylik.

**Hajm.** Tashqi kuchlar ta'siriga qaramay qattiq jism molekulalari orasida o'zaro ta'sir kuchli bo'lgani uchun o'zlarining hajmlari va shaklini, suyuqliklar esa o'z hajmlarini saqlaydilar. Gazlar esa molekulalar orasida o'zaro ta'sir kuchsiz bo'lgani uchun o'zi solingan idish hajmini egallaydi. Shunday qilib, ***sistema hajmi*** degan fizik kattalik kiritiladi, hajm  $M$  larda o'lchanadi.

**Harorat.** Moddaning issiqlik holatini xarakterlash uchun termodinamik kattalik ***harorat*** tushunchasi kiritiladi.

SI da haroratning absolyut termodinamik shkalasi, ya'ni ***Kelvin shkalasi*** asosiy birlik sifatida qabul qilingan. ***Suvning uchlanma nuqtasi, ya'ni qattiq, suyuq va gazsimon fazalarining muvozanatli holatini aniqlovchi nuqta haroratigacha bo'lgan harorat intervalining 1/273,16 qismi bir kelvin (K) deb qabul qilingan.*** Bu birlikdan tashqari, haroratni o'lchashda ***Celsiy shkalasi*** keng qo'llaniladi. Normal bosimda muzning erishi va suvning qaynash haroratlari intervalining 1/100 ulishi selsiy shkalasidagi  $1^{\circ}\text{C}$  ni beradi. Suvning muzlash, erish va bug'lanish fazalarining muvozanatli holatiga to'g'ri kelgan haroratni  $0^{\circ}\text{ C}$  deb olsak, u vaqtida uchlanma nuqtaning harorati kelvin shkalasida  $273,16\text{ K}$  shu sharoitda suvning qaynash harorati esa  $373,16\text{ K}$  teng bo'ladi.

Demak, Kelvin va Selsiy shkalalari orasidagi bog'lanish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$T = 273,16 + t \quad (17)$$

bunda sistemaning Kelvin shkalasi bo'yicha o'lchangan harorat  $T$  harfi bilan, Selsiy shkalasi bo'yicha o'lchangan harorat esa  $t$  harfi bilan belgilanadi.

**Bosim.** Bosim ( $R=F/S$ ) yuza birligiga normal ta'sir etuvchi kuch bilan o'lchanuvchi fizik kattalikdir. Bosimning asosiy birligi sifatida ***paskal (Pa)*** qabul qilingan. Bosimning ***millimetrik simob ustuni (mm.sim.ust)*** birligidan ham foydalaniladi. Bu birliklar orasida quyidagicha bog'lanish bor  $1\text{ mm.sim.ust} = 133,322\text{ Pa}$

**Modda miqdori.** Modda miqdorini o'lchash uchun asosiy birlik sifatida Mol qabul qilingan. Moddaning bir molining massasiga uning ***molyar massasi*** deyiladi. ***Uglerod - 12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element***

*(masalan, atom, molekula) lardan tashkil topgan moddaning miqdori bir mol(v) deb ataladi.*

### **Mustahkamlash uchun savollar**

1. Moddaning turlari qaysilar?
2. Modda xossalari deganda nimani tushunasiz?
3. Modda xossalari aniqlashning usullarini qaysilar.
4. Modda xossasini o'rganishning dinamik usuli qanday?
5. Modda xossasini o'rganishning statistik usuli qanday?
6. Modda xossasini o'rganishning termodinamik usuli qanday?
7. Makroskopik parametrlarni ayting?

**3-mavzu. Ideal gaz bosimi. Gaz-molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi.**

**Reja:**

1. Ideal gaz bosimi.
2. Gaz molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi.

**Tayanch so'z va iboralar:**

Ideal gaz, gaz bosimi, temperatura, molekulyar - kinetik nazariya.

**Ideal gaz bosimi.**

Bayon etiladigan hodisalarning katta qismi uchun atom ichidagi protsesslarning kvant harakterini nazarga olish ehtiyoji va hatto atomlarning qandaydir strukturasi mavjud ekanligini nazarga olish ehtiyoji ham yo'q. Bizning vazifamiz juda kichik o'lchamlar va massalarga ega bo'lgan jismlar sifatida qaraluvchi ko'p sonli molekulalardan tuzilgan sistemalarni o'rganishdir.

Bunday molekulyar sistemalarni nazariy o'rganishning katta qiyinchiliklar bilan bog'liq ekanligi tushunarli, chunki buning uchun har bir molkulaga boshqa barcha molekulalar tomonidan ta'sir qiluvchi barcha kuchlarni nazarga olish kerak bo'ladi. Agar molekulalarning harakati sof mexanikaviy bo'lib, mexanika qonunlariga bo'ysunadi deb faraz qilinsa, u holda har qanday molekulyar sistemani to'la tavsiflash uchun go'yo barcha molekulalarning berilgan kuchlar ta'sirida harakati to'g'risidagi masalani echish kerak bo'ladi (aniqrog'i, tenglamalar soni molekulalar sonidan uch marta ko'p bo'lishi kerak, chunki har bir molekulaning vaziyati uchta koordinata bilan aniqlanadi, ya'ni har bir molekulaning uchta erkinlik darajasi bor). Agar  $1 \text{ sm}^3$  gazda odatdagи sharoitda  $2,7 \times 10^{19}$  ta molekula bo'lishi hisobga olinsa, u holda bunday ulkan sondagi tenglamalarni echish u yodqa tursin, hatto yozishning o'zi ham mumkin emasligi ravshan bo'lib qoladi.

Biroq molekulalar sonining ulkan ekanligi har bir molekula harakatini alohida o'rganishni keraksiz qilib qo'yadi. Zarralar soni bunchalik katta bo'lganida ularning harakatini xarakterlovchi kattaliklarning o'rtacha qiymatliklarinigina, masalan, ularning o'rtacha tezligi, o'rtacha energiyasi va shu kabilarni bilish bilan cheklanish mumkin ekan. Molekulyar sistemalarni o'rganishda biz shu usuldan foydalanamiz. Har qanday moddaning uch agregat holatidan eng soddasи gazsimon holatidir, chunki bu holda molekulalar orasidagi ta'sir qiluvchi kuchlar juda kichik bo'lib, ularni nazarga olmaslik mumkin. SHuning uchun biz molekulyar fizikani bayon

qilishni gazlarning xossalari o'rganishdan boshlaymiz. Bunda biz dastlab molekulalararo kuchlar juda kichikkina emas, hatto batamom yo'q deb faraz qilamiz. Soda bo'lisi uchun molekulalarning o'lchamlarini ham nazarga olmaymiz, ya'ni ularni moddiy nuqtalar deb olamiz. Bunday qilinganda gaz molekulalari mutlaqo erkin deb hisoblanishi kerak. Bu degan so'z, ular hech qanday kuch ta'siriga duch kelmagan barcha jismlar harakatlangani kabi to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladi demakdir. Binobarin, har bir molekula o'zini idishda boshqa molekulalar yo'qdek tutadi.

O'zaro ta'sirlashmaydigan moddiy nuqtalar to'plami singari xossalarga ega bo'lgan gaz *ideal gaz* deb ataladi. Ideal gazlarning kinetik nazariyasini bayon qilish bizning birinchi vazifamiz bo'ladi.

### Gazning bosimi

Agar molekulalarning gazdag'i har qanday jism sirti bilan, xususan, gaz to'ldirilgan idish devorlari va bir-biri bilan to'qnashuviga doir masalalar qarab chiqilmasa, gaz molekulalarining harakat manzarasi to'liq bo'lmaydi.

Haqiqatdan ham, molekulalar tartibsiz harakatlanib, vaqtı-vaqtı bilan idish devoriga yoki boshqa jismlar sirtiga etarlicha kichik masofalarga yaqinlashadi. Xudi shuningdek, molekulalar bir-birlariga ham etarlicha yaqin kelishlari mumkin. Bunday hollarda gaz molekulalari orasida yoki gaz molekulasi va devor moddasi molekulasi orasida o'zaro ta'sir kuchlari paydo bo'ladi, bu kuchlar masofa ortishi bilan juda tez kamayadi. Bu kuchlar ta'sirida gaz molekulalari o'zining harakat yo'naliшини o'zgartiradi. Ma'lumki, bu protsess (yo'naliшning o'zgarishi) *to'qnashish* deb ataladi.

Molekulalarning o'zaro to'qnashishi gaz tabiatida juda katta rol o'ynaydi. Biz ularni keyinroq batafsil o'rganamiz. Hozir molekulalarning idish devorlari bilan yoki gazga tegib turgan ixtiyoriy sirt bilan to'qnashishini nazarga olish muhimdir. Gaz tomonidan idish devorlariga va unga teng bo'lgan qarama-Qarshi yo'naliшdag'i devorlar tomonidan gazga ta'sir qiluvchi kuch gaz molekulalari va devor molekulalari orasidagi o'zaro ta'sirdan aniqlanadi. Devor sirtining yuzi qancha katta bo'lsa, gaz tomonidan devorga ta'sir qiluvchi kuch shuncha katta bo'lisi ravshan. Devor o'lchamlari singari tasodifiy faktorga bog'liq bo'lgan kattalikdan foydalanmaslik uchun gazning devorga ta'sirini kuch bilan emas, balki r bosim bilan, ya'ni ta'sir qilayotgan F kuchga normal bo'lgan devor sirtining yuz birligi S ga to'g'ri keladigan kuch bilan xarakterlash qabul qilingan:

$$p = \frac{F}{S}$$

Gazning o'zi turgan idish devorlariga bosim berish xossasi – gazning asosiy xossalardan biridir. Ko'pincha gaz xudi shunday bosimi bilan o'zining mavjudligini namoyon qiladi. SHuning uchun bosim kattaligi gazning asosiy xarakteristikalaridan biridir. Gazning idish devorlariga bosimi, XVIII asrdayoq Daniel Bernulli taxmin qilganidek, gaz molekulalarining devorlar bilan cheksiz to'qnashuvlari natijasidir. Molekulalarning devorlarga bunday zarbalar devor materiali zarralarini birmuncha siljitadi, ya'ni uni deformatsiyalaydi. Deformatsiyalangan devor esa gazga har bir

nuqtada devorga perpendikulyar yo'nalgan elastik kuch bilan ta'sir qiladi. Bu kuch absolyut kattaligi jihatidan gazning devorga ta'sir qilayotgan kuchiga teng va yo'nalishi jihatidan unga qarama-qarshidir. Garchi har bir alohida molekulaning to'qnashi shvaqtida devor molekulalari bilan o'zaro ta'sir kuchi noma'lum bo'lsada, mexanika qonunlari gazning barcha molekulalarning birqalikda ta'sir qilgandagi o'rtacha kuchini, ya'ni gazning bosimini aniqlashga imkon beradi. Faraz qilaylik, gaz parallelepiped shaklidagi idishga solingan (2-rasm) va gaz muvozanat holatda bo'lsin. Ayni holda bu gaz butunlayicha idish devorlariga nisbatan tinch turibdi degan ma'noni anglatadi: biror ixtiyoriy yo'nalishda harakatlanayotgan molekulalar soni, o'rtacha olganda, tezliklari qarama-qarshi tomonga yo'nalgan molekulalar soniga teng.

Gazning idish devorlaridan biriga, masalan abcd o'ng yon devoriga bosimini hisoblaylik. X koordinatsiya o'qini perallelepiped doirasi bo'ylab abcd devorga perpendikulyar qilib 2-rasmida ko'rsatilganidek yo'naltiramiz. Molekulalarning tezliklari v qanday yo'nalgan bo'lmasin, bizni faqat molekulalar tezliklarining X o'qQa proektsiyasi  $v_x$  tezlik bilan harakatlanadi.

Gazning tanlangan devorga kelib tutashuvchi  $\Delta x$  qatlamini fikran ajratib olaylik. Bu gaz qatlamiga deformatsiyalangan devor tomonidan F elastik kuch ta'sir qiladi. Absolyut kattaligi jihatidan xudi shunday kuch bilan gaz ham devorga ta'sir qiladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra,  $F \Delta t$  kuch impulsi (bu yerda  $\Delta t$  - biror ixtiyoriy vaqt oralig'i) biz tanlangan qatlamdagagi gaz impulsining o'zarishiga teng. Biroq gaz muvozanat holatda, shuning uchun qatlam kuch impulsi yo'nalishida ( $X$  o'qining musbat yo'nalishiga teskari yo'nalishda) impuls orttirmasini olmaydi. Bunga sabab shuki, molekulalar harakatlar tufayli ajratib olingan qatlam qarama-qarshi yo'nalishda absolyut qiymati jihatidan xudi shunday impul oladi. Uni hisoblash qiyin emas.

Gaz molekulalarining tartibsiz xarakatida  $\Delta t$  vaqt ichida tanlangan qatlama chapdan o'ngga biror sondagi molekulalar kiradi va huddi shuncha molekula teskari yo'nalishda – o'ngdan chapga undan chiqadi. Kirayotgan molekulalar o'zlar bilan ma'lum impuls olib keladi. CHiqayotgan molekulalar esa qarama-qarshi ishorali xudi shuncha impul olib ketadi, demak qatlam olayotgan umumiy impuls qatlamga kirayotgan va undan chiqayotgan molekulalar impulslarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

Tanlangan qatlama chapdan  $\Delta t$  vaqt ichida kirayotgan molekulalar sonini topamiz. Bu vaqt ichida chap tomonidan a` b` c` d` chegaraga undan  $v_x \Delta t$  dan uzoq bo'lmasan masofadagi molekulalarga kela oladi. Ularning hammasi asos yuzi S (ko'rileyotgan devorning yuzi) va uzunligi  $v_x \Delta t$  bo'lgan parallelepiped hajmida, ya'ni  $S v_x \Delta t$  hajmda bo'ladi. Agar idishning birlik hajmida n ta molekula bo'lsa, ko'rsatilgan hajmda n  $S v_x \Delta t$  molekula bo'ladi. Biroq ularning yarmi chapdan o'ngga harakatlanadi va qatlama tushadi. Ikkinci yarmi esa qatlamdan teskari tomonga harakat qiladi va qatlama tushmaydi. Binobarin,  $\Delta t$  vaqt ichida qatlama chapdan o'ngga  $\frac{1}{2} n S v_x \Delta t$  molekula kiradi. Ularning har biri  $mv_x$  impulsiga ega ( $m$ - molekulaning massasi) va ularning qatlama olib kirayotgan umumiy impulsiga:

$$\frac{1}{2} nm v_x^2 S \Delta t .$$

Ayni vaqt ichida qatlamdan o'ngdan chapga harakatlanib, xuddi shunday sondagi molekula teskari ishorali xuddi shunday impuls olib qatlamga musbat impulsli molekulalarni impulsli molekulalarning ketishi o'zgarishi

$$\frac{1}{2} nm v_x^2 S \Delta t - \left( -\frac{1}{2} nm v_x^2 S \Delta t \right) = nm v_x^2 S \Delta t$$

qatlam impulsining ana shu o'zgarishi  $F \Delta t$  kuch impulsiga ta'sirida ro'y berishi mumkin bo'lgan o'zgarishni kompensatsiyalaydi. SHuning uchun biz quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$F \Delta t = nm v_x^2 S \Delta t$$

Bu tenglikning har ikki tomonini  $S \Delta t$  ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$\frac{F}{S} = p = nm v_x^2 . \quad (4)$$

SHu vaqtgacha biz o'z-o'zidan gaz barcha molekulalarining tezlik proektsiyalari  $v_x$  bir xil deb faraz qilgan edik. Haqiqatda esa bunday emas, albatta. Molekulalarning tezliklari v ham, ularning X o'qqa proyektsiyalari  $v_x$  ham turli molekulalarda turlicha bo'lishi ravshan. Hozircha esa molekulalar tezliklari va tezliklarining koordinata o'qlariga proektsiyalaridagi farqni (4) formulaga kiruvchi  $v_x^2$  kattalikni uning o'rtacha qiymati  $\frac{1}{g_x^2}$  ga almashtirish bilan nazarga olamiz, ya'ni gaz bosimi uchun

(4) formulaga quyidagi ko'rinishni beramiz:

$$p = nm \frac{1}{g_x^2} \quad (5)$$

Har bir molekulaning v tezligi uchun

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

deb yozish mumkin, shuning uchun

$$g^2 = g_x^2 + g_y^2 + g_z^2 \quad (6)$$

(oxirgi tenglik o'rtachalash va qo'shish amallarini almashtirish mumkin ekanligini bildiradi). Molekulyar harakat batamom tartibsiz bo'lganligi tufayli uchala koordinata o'qlari bo'yicha tezliklar kvadratlarining o'rtacha qiymatlari bir-biriga teng deb faraz qilish mumkin, ya'ni

$$g_x^2 = g_y^2 = g_z^2$$

Bu esa (6) ni nazarga olib

$$\overline{v^2} = \frac{\overline{v_x^2}}{3}$$

ni yozish mumkin ekanligini ko'rsatadi. Bu ifodani (5) formulaga qo'ysak,

$$p = \frac{1}{3} m_0 n g^2$$

yoki bu tenglikning o'ng qismini ikkiga ko'paytirib va bo'lib quyidagini olamiz:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{\overline{mv^2}}{2} \quad (7)$$

Bayon qilgan oddiy mulohazalarimiz idishning har qaysi devoriga va fikran gazga kiritish mumkin bo'lган har qanday yuzga nisbatan o'rinnlidir. Barcha hollarda ham biz gaz bosimi uchun (7) formula bilan ifodalangan natijani olamiz. Bu formuladagi

$\frac{\overline{mv^2}}{2}$  kattalik gazning bitta molekulasining o'rtacha kinetik energiyasini bildiradi.

Binobarin, *gazning bosimi hajm birligidagi gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng*.

Bu ideal gaz kinetik nazariyasining eng muhim xulosalaridan biridir. (7) formula molekulyar kattaliklar, ya'ni alohida molekulaga tegishli kattaliklar bilan bosim kattaligi, ya'ni gazni butunlayicha xarakterlovchi, bevosita tajribada o'lchanadigan makroskopik kattalik bilan bog'lanishini aniqlaydi, (7) tenglamani ba'zida ideal gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deb ataladi.

Gazning bosimi uning molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi bilan aniqlanishini ta'kidlab o'tish muhim. Bu degan so'z, gazning bosimi – gazning ko'p sonli molekulalardan iboratligi bilan organik bog'liq bo'lган kattalikdir. SHuning uchun, masalan, bir yoki bir necha molekula hosil qilgan bosim to'g'risida gapirish ma'noga ega bo'lmaydi. Juda ko'p zarralardan iborat bo'lган sistemalar uchungina ma'noga ega bo'lган bunday tushunchalarni *statistik* xaraktyerdagi tushunchalar deyiladi.

SHu yerning o'zida (7) formulaga kiruvchi tezlik *kvadratining o'rtacha qiymati*  $\overline{g^2}$  kattaligini tezlik *o'rtacha qiymatining kvadrati*  $\overline{g^2}$  kattaligidan farq qilish kerakligini uqtirib o'tamiz.  $\overline{g^2}$  dan olingan kvadrat ildiz  $\sqrt{\overline{g^2}}$  o'rtacha tezlikka teng, holbuki  $\sqrt{\overline{g^2}}$  esa  $\overline{g}$  ga teng emas.

$\sqrt{\overline{g^2}} = \overline{g}$  kattalik ( $\overline{g}$  emas!) molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi deb ataladi. Agar molekulalarning harakati batamom haotik bo'lsa, u holda ularning o'rtacha kvadratik tezligi o'rtacha tezlikdan taxminan 9% katta bo'ladi.

**Bosim birlklari.** SI sistemasida bosim birligi uchun shunday bosim olinadiki, bunda  $1\text{m}^2$  sirtga unga normal holda 1 nyuton kuch ta'sir qiladi. Bunday birlik paskal (qisqacha Pa) deb ataladi:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Bu birlik juda kichik bo'lGANI tufayli foydalanish uchun  $10^5$  marta katta birlik tavsiya qilinadi, u bar deb ataladi:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa.}$$

SGS sistemasida bosim dina/ $\text{sm}^2$  = 0,1 Pa.

$$1 \text{ dina}/\text{sm}^2 = 0,1 \text{ Pa.}$$

Texnikada bosimning texnikaviy atmosfera (qisqacha at) deb nomlangan birligi keng qo'llaniladi va u 1 kgk/ $\text{sm}^2$  ga teng. Bu birlik birdan faqat 2% ga farq qiladi:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgk}/\text{sm}^2 = 98066,5 \text{ Pa} \approx 0,98 \text{ bar.}$$

Ba'zida fizikaviy atmosfera (qisqacha atm) birligidan foydalaniladi, bu birlik balandligi 76 sm bo'lgan simob ustunining bosimiga teng. Simobning zichligi  $13,5951 \text{ g/sm}^3$  ( $13595,1 \text{ kg/m}^3$ ) va erkin tushish tezlanishi  $9,80665 \text{ m/sek}^2$  deb hisoblasak, quyidagini olamiz:

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^6 \text{ dina/sm}^2 = \text{Pa} (\approx 1,01 \text{ bar}).$$

Past bosimlar sohasida bosimning tor deb ataladigan (simob ustunining millimetri) birligi qo'llaniladi:

$$1 \text{ tor} = \frac{1}{760} \text{ atm} = 133,322 \text{ Pa} \approx 1,33 \times 10^3 \text{ dina/sm}^2$$

Masalalar echishda bosimning biz keltirgan birliklaridan faqat Pa (SI sistemasi) va dina/sm<sup>2</sup> (SGS sistemasi) gina sistema birliklari ekanini esda tutish kerak.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Ideal gaz bosimini tushuntiring?
2. Gaz-molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini ayting?
3. Molekulalarning konsentratsiyasi deganda nimani tushunasiz?
4. O'rtacha kvadratik tezlik deganda nimani tushunasiz?
5. O'rtacha kinetik energiya deganda nimani tushunasiz?
6. Fizikaviy atmosfera deganda nimani tushunasiz?
7. Bosim birliklari haqida gapiring?
8. Tehnik atmosfera haqida gapiring?

### **4-mavzu: Temperatura. Ideal gaz holat tenglamasi**

#### **Reja:**

1. Temperaturaning fizik ma'nosi.
2. Temperaturaning o'lchov shkalalari.
3. Ideal gaz holat tenglamasi

**Tayanch so'z va iboralar:** Temperatura, ideal gaz, issiqlik muvozanati, termometrik modda, termometrik kattalik, gaz termometri.

#### **Temperatura**

quyidagi (7) tenglama

$$p = \frac{2}{3} n \frac{\overline{mv^2}}{2}$$

dan ideal gazning bosimi uning molekulalarining zichligi (zichlik hajm birligidagi molekulalar soni  $n$  bilan aniqlanadi) va molekulalar ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasiga proporsional ekanligi kelib chiqadi.  $n = \frac{N}{V}$ , bu yyerda  $N$ -idishdagi molekulalar soni) gazning bosimi molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasigagina bog'liq bo'ladi.

SHu bilan birga tajribadan ma'lumki, gazning hajmi doimiy bo'lganda uning bosimini faqat bir usul bilan, ya'ni qizdirish yoki sovitish yo'li bilan o'lchash mumkin: gaz qizdirilganda uning bosimi ortadi, sovitilganda esa bosimi kamayadi. Barcha jismlar singari qizdirilgan yoki sovitilgan gaz ham o'z temperaturasi bilan xarakterlanadi. Bu kattalik ilgaridan fanda, texnikada va turmushda ishlatisib

kelinadigan alohida kattalikdir. Binobarin, temperatura va molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi orasida bog'lanish mavjud bo'lishi kerak. Bu bog'lanishni aniqlashdan avval temperaturaning o'zi fizikaviy kattalik sifatida nimadan iborat ekanligini ko'raylik.

Kundalik hayotda temperatura «issiq»ni «sovuv»dan farq qiluvchi kattalikdir. Temperatura to'g'risidagi birinchi tasavvurlar issiqni va sovuqni sezish hissidan kelib chiqqan. Temperaturaning fizikaviy kattalik sifatidagi asosiy xususiyatini aniqlash uchun bizga tanish bo'lган ana shu hissiyotdan foydalanamiz.

Uchta idish olaylik. Ularning biriga issiq, ikkinchisiga sovuq va uchinchisiga issiq va sovuq suvlarning aralashmasini quyaylik. Bir qo'limizni, masalan, o'ng qo'limizni issiq suvli idishga, chap qo'limizni esa sovuq suvli idishga botiramiz. qo'llarimizni birmuncha vaqt idishlarda ushlab turib, endi uchinchi idishga botiramiz. Bunda idlishdagi suv haqida bizda qanday sezgi uyg'onadiq O'ng qo'limizga idishdagi suv sovuq, chap qo'limizga esa issiq bo'lib tuyuladi. Biroq agar qo'llarimizni uchinchi idishga birmuncha ko'proq botirib tursak, bunday farq yo'qoladi. Birmuncha gvaqtda n keyin ikkala qo'limiz uchinchi idishdagi suvning temperurasiga mos keluvchi mutlaqo bir xil sezgi uyg'ota boshlaydi. Hamma gap shundaki, dastlab issiq va sovuq suvli idishlarga botirgan qo'llarimiz bir-biridan va ayni gvaqtda uchinchi idishdagi suvning temperurasidan farq qiluvchi temperaturaga ega edi va qo'llarimizning har birining temperaturasi qo'llarimiz botirilgan suvning temperurasiga tenglashguncha birmuncha vaqt kerak bo'ladi. Sezgilar ham birday bo'ladi. Bunda – «o'ng qo'l – chap qo'l – suv» jismlar sistemasida issiqlik muvozanati o'rnatiladi, deb aytish mumkin.

Bu oddiy tajriba temperatura – issiqlik muvozanati holatini xarakterlovchi kattalik ekanini ko'rsatadi: issiqlik muvozanati holatida bo'lган jismlarning temperurasasi bir xil bo'ladi va aksincha, bir xil temperaturali jismlar bir-biri bilan issiqlik muvozanatida bo'ladi. Agar *ikki jism qandaydir uchinchi jism bilan issiqlik muvozanatida bo'lsa, har ikkala jism ham o'zaro issiqlik muvozanatida bo'ladi*. Bu muhim qoida tabiatning asosiy qonunlaridan biridir. Temperaturani o'lchash mumkinligi ham ana shu qonunga asoslanadi. Biz yuqorida bayon qilgan tajribada, qo'llarimizning har biri suv bilan issiqlik muvozanatida bo'lgandan keyingina ikkala qo'limizning issiqlik muvozanati to'g'risida gapirdik.

Agar jism yoki jismlar sistemasi issiqlik muvozanati holatida bo'lmasa va sistema izolyatsiyalangan bo'lsa (boshqa jismlar bilan o'zaro ta'sirda bo'lmasa), u holda biror vaqt o'tgandan keyin o'z-o'zidan issiqlik muvozanati qaror topadi. Issiqlik muvozanati holati har qanday izolyatsiyalangan sistemaning o'tishi muqarrar bo'lган holatdir. Bu holatga erishgandan keyin u o'zgarmaydi va sistemada hech qanday makroskopik o'zgarishlar bo'lmaydi. Issiqlik muvozanati holatining belgilaridan biri jism barcha qismlari temperaturalarining yoki sistemadagi barcha jismlari temperaturalarining tengligidir. Ma'lumki, issiqlik muvozanati qaror topish protsessida, ya'ni ikki jism temperaturasning tenglashish protsessida issiqlik bir jismdan ikkinchi jismga uzatiladi. Binobarin, eksperimental nuqtai nazardan qaraganda jismning temperurasasi jismning boshqa temperaturali boshqa jismga issiqlik beradimi yoki undan issiqlik oladimi, ana shuni aniqlovchi kattalikdir.

Temperatura fizikaviy kattaliklar qatorida alohida o’rin egallaydi. Bunga ajablanmasa ham bo’ladi, chunki bu kattalik fanda paydo bo’lgan davrda moddadagi qanday ichki protsesslar issiqlik yoki sovuqlik hissiyotini uyg’otish noma’lum edi. Temperaturaning fizikaviy kattalik sifatida o’ziga xos xususiyati shundaki, boshqa kattaliklardan farqli ravishda temperatura additiv emas. Bu degan so’z, agar jismni fikran bo’laklarga bo’lsak, butun jismning temperaturasi uning bo’laklari temperaturasining yig’indisiga teng bo’lmaydi. Bu jihatdan temperatura, masalan, uzunlik, hajm, massa singari qiymatlari butun jismga tegishli bo’laklari qiymatlarining yig’indisiga teng bo’ladigan kattaliklardan farq qiladi.

SHu tufayli jismning temperaturasining bevosita, uzunlikni yoki massani o’lchagandagi singari, etalon bilan taqqoslab o’lchash mumkin emas. Agar bir sterjen to’g’risida uning uzunligi boshqa sterjenning uzunligidan bir necha marta katta deb gapirish mumkin bo’lsa, bir temperaturaning ikkinchisida qancha borligi to’g’risida gapirish ma’nosizdir.

Temperaturani o’lchash uchun ilgaridan jismning temperaturasi o’zgarganida uning xossalari ham o’zgarishidan foydalanim kelinadi. Binobarin, bu xossalarni xarakterlovchi kattaliklar ham o’zgaradi. SHuning uchun temperaturani o’lchaydigan asbob, ya’ni *termometrni* yaratishda biror modda (*termometrik modda*) va moddaning xossasini xarakterlovchi ma’lum kattalik (*termometrik kattalik*) tanlanadi. qanday modda va qanday kattalikni tanlash mutlaqo ixtiyoriy. Xo’jalikda ishlatiladigan termometrlarda termometrik modda - simob, termometrik kattalik sifatida esa simob ustunining uzunligi tanlanadi.

Temperatura kattaligiga aniq son qiymatlarni taqqoslash uchun termometrik kattalikning temperaturaga biror bog’lanishini aniqlash kerak. Bunday bog’lanishni tanlash ham ixtiyoriy: chunki termometrsiz tajriba yo’li bilan bunday bog’lanishni aniqlash ham mumkin emas! Simob termometrida, masalan, simob ustuni uzunligining (simob hajmining) temperaturaga chiziqli bog’lanishi tanlanadi.

Endi temperatura birligi – grudusni aniqlash qoladi (garchi prinsip jihatidan temperatura birligini termometrik kattalik o’lchanadigan birliklarda, masalan, simob termometrida–santimetrlarda ifodalash ham mumkin edi). Gradus kattaligi ham ixtiyoriy tanlanadi (termometrik modda, termometrik kattalik va termometrik kattalikni temperatura bilan bog’lovchi funksiya ko’rinishi singari). Gradusning o’lchami quyidagicha aniqlanadi. Yana ixtiyoriy holda ikki temperatura tanlanadi – odatda bu muzning erish va suvning atmosfera bosimida qaynash temperaturalari (ular reper nuqtalari deb ataladi) bo’ladi. Bu temperatura intervalini biror (yana ixtiyoriy) sondagi teng qismlarga – graduslarga bo’linadi, bu temperaturalardan biriga biror aniq son qiymati yoziladi. SHu bilan ikkinchi temperaturaning va ixtiyoriy oraliq temperaturaning qiymati aniqlanadi. SHunday tarzda *temperatura shkalasi* hosil qilinadi. Bayon qilingan yo’l bilan cheksiz ko’p sondagi turli termometrlarni va temperatura shkalalarini hosil qilish mumkin.

Hozirgi zamon termometr hisobi (termometriya) *gaz termometri* yordamida aniqlanadigan *ideal gaz shkalasiga* asoslangan. Gaz termometrii ideal gaz bilan to’ldirilgan berk idish bo’lib, gaz bosimini o’lchash uchun manometr modda ideal gaz, termometrik kattalik gazning o’zgarmas hajmdagi bosimidir. Bosimning

temperaturaga bog'liqligi chiziqli deb qabul qilinadi (qabul qilinadi!). Bunday faraz shunga olib keladiki, suvning qaynash temperaturasidagi ( $t_q$ ) va muzning erish temperurasidagi  $r_0$  bosimlarning nisbati shu temperaturalarning nisbatiga teng bo'ladi:

$$\frac{p_\kappa}{p_0} = \frac{T_\kappa}{T_0}$$

$\frac{p_\kappa}{p_0}$  nisbati tajribada oson aniqlash mumkin. Ko'p o'lchashlarning ko'rsatishicha, bu nisbat quyidagiga teng:

$$\frac{p_\kappa}{p_0} = 1,3661$$

Binobarin, temperaturalar nisbatining qiymati ham shunday:

$$\frac{T_\kappa}{T_0} = 1,3661$$

Gradus o'lchami  $T_Q - T_0$  temperaturalar farqini yuz qismga bo'lib topiladi:

$$T_Q - T_0 = 100$$

Keyingi ikki tenglikdan muzning erish temperurasini  $T_0$  biz tanlagan shkala bo'yicha 273,15 gradusga, suvning qaynash temperurasini  $T_Q$  esa 373,15 gradusga teng. Gaz termometrii yordamida biror jismning temperurasini o'lchash uchun jismni gaz termometriga tegizish kerak va muvozanat bo'lishini kutib, termometrdagi gazning bosimi p ni o'lchash kerak. Bunda jismning temperurasini quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$T = \frac{273,15}{p} p'$$

bu yyerda  $p_0$  – eriyotgan muzga qo'yilgan gaz termometridagi bosim.

Amalda gaz termometridan juda kam foydalaniladi. Uning muhimroq vazifasi bor – gaz termometrii bo'yicha barcha ishlataladigan termometrlar darajalanadi.

Biz tanlagan shkalada nolga teng temperatura ravshanki, ideal gazning bosimi nolga teng bo'lgandagi temperatura bo'lishi kerak. (Bundan ideal gazni haqiqatan ham shunchalik sovitish mumkinki, uning bosimi nolga teng bo'ladi, degan ma'no kelib chiqmaydi), Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolyut shkala* deb ataladi, bunday shkaladan hisoblangan temperatura esa *absolyut temperatura* deb ataladi. Uni ko'pincha Kelvin shkalasi, bu shkaladagi temperatura birligini – Kelvin gradusi yoki oddiy qilib *kelvin* deb yuritiladi (K bilan belgilanadi).

Texnika va turmushda boshqacha temperatura shkalasidan foydalaniladi, uning yuqorida bayon qilingan shkaladan farqi shundaki, muzning erish temperurasiga nol qiymat beriladi (gradusning o'lchami avvalgidek qoladi). Bu shkala *Selsiy shkalasi* deb ataladi. Bu shkaladan hisoblanadigan t temperatura T absolyut temperatura bilan quyidagicha bog'langan:

$$t = T - 273,15.$$

Biz kelgusida Kelvin shkalasidan foydalanamiz.

Bu yerda aytilganlardan temperatura jismlarning issiqlik muvozanatini xarakterlashi kelib chiqadi: muvozanat holatiga o'tishda jismlarning temperaturalari tenglashadi, muvozanat holatida esa jismning yoki jismlar sistemasining barcha qismlarining temperaturasi birday bo'ladi. Temperaturani o'lhash yuzasidan o'tkaziladigan tadbirlar ana shularga bog'liq. Haqiqatan ham, termometrik kattalik qiymatini muzning erish va suvning qaynash temperaturalarida o'lhash uchun termometri eriyotgan muz va qaynayotgan suv bilan muvozanatga keltirish kerak; biror jismning temperaturasini o'lhash uchun esa termometr bilan jism orasida issiqlik muvozanati amalga oshishi kerak. SHunday muvozanat qaror topgandan keyingina jismning temperaturasi termometr bo'yicha hisoblangan temperaturaga teng deb olish mumkin.

SHunday qilib, temperatura – sistemada muvozanat qaror topishi protsessida tenglashadigan kattalikdir. Biroq tenglashish tushunchasining o'zi sistemaning bir qismidan boshqa qismiga nimadir uzatilishini anglatadi. Bu hosil qilgan (7) ideal gaz bosimi tenglamasi ana shu «nimadir» deganimiz nima ekanligini tushuntirishga yordam beradi.

Ideal gaz solingan izolyatsiyalangan tsilindrni ko'z oldimizga keltiraylik, unda issiqlik muvozanati qaror topgan, demak, gaz hajmining barcha qismlarida temperatura birday bo'lsin. Muvozanatni buzmasdan silindrga gaz hajmini ikkiga bo'luvchi harakatlana oladigan porshen tinch turadi. Demak, muvozanat sharoitida faqat temperaturalargina emas, bosim ham porshenning ikki tomonida bir xil bo'ladi. (7) tenglamaga muvofiq,  $n(\overline{mv^2}/2)$  kattaliklar har bir xil bo'ladi:

$$\left( n \frac{\overline{mv^2}}{2} \right)_{\text{uan}} = \left( n \frac{\overline{mv^2}}{2} \right)_{\text{buhz}}$$

Endi vaqtincha gazli silindir izolyatsiyasini buzamiz va uning qismlaridan birini, masalan, porshendan chap tomonini qizdiramiz va so'ngra yana izolyatsiyani tiklaymiz. Endi tsilindrda gaz muvozanatda bo'lmaydi – chap bo'limdagi  $T_1$  temperatura o'ng bo'limdagidan yuqori (3-b rasm). Biroq gaz izolyatsiyalangan bo'lgani sababli o'zi-o'zi bilan muvozanatlasha boshlaydi. Bunda biz porshenning chapdan o'ngga harakatlanib siljiyotganini ko'ramiz. Bu ish bajarilayotganini va binobarin, chap bo'limdagi gazdan o'ng bo'limdagisi gazga porshen orqali *energiya* uzatilayotganini bildiradi. Demak, issiqlik muvozanati qaror topish protsessida uzatilayotgan «nimadir» deganimiz *energiya* ekan. Biror gvaqtida  $n$  keyin porshenning harakati to'xtaydi. Va u tsilindrning chap bo'limi qizdirilgandan avvalgi turgan joyida to'xtaydi. Gaz to'ldirilgan tsilindrda yana boshqatdan muvozanat holati qaror topdi. Lekin endi gazning temperaturasi, shuningdek bosimi ham biz qizdirgunimizgacha bo'lgan temperatura va bosimdan yuqori bo'ladi, albatta. Porshen avvalgi o'rnida to'xtadi, shuning uchun molekulalar kontsentratsiyasi  $n$  (hajm birligidagi molekulalar soni) avvalgidek qoldi. Bu gazni qizdirish natijasida faqat uning molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi ortganini anglatadi. Temperaturaning tenglashishi, porshenning har ikki tomonidagi molekulalar o'rtacha kinetik energiyasi qiymatliklarining tenglashishini bildiradi.

Muvozanatga o'tishda gazning bir qismidan ikkinchi qismiga energiya uzatiladi, biroq butun gazning energiyasi tenglashmaydi, balki bir molekulaga to'g'ri keladigan o'rtacha kinetik energiyasi tenglashadi. Molekulaning o'rtacha kinetik energiyasining o'zi temperatura demakdir.

Bu ikki kattalik yana shu jihatidan o'xshashki, o'rtacha kinetik energiya ham, temperatura ham noadditiv kattaliklardir, bu kattalik butun gaz uchun ham, uning qanday (etarlicha ko'p sonli molekulalar bo'lgan) qismi uchun ham bir xil bo'ladi. Butun gazning energiyasi, albatta, additiv kattalik, bu kattalik uning qismlari energiyasining yig'indisiga teng.

Bizning mulohazalarimiz silindrini gaz porshen tufayli ikkiga bo'lingan hol uchungina tegishli deb tushunmaslik kerak. Porshen bo'limganda ham molekulalar to'qnashuvlarda o'zaro energiya almashinar edi va energiya qiziganroq qismidan sovuqroq qismiga uzatilar, buning natijasida molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi tenglashgan bo'lar edi. Porshen energiya uzatilishini yaqQol ko'rsatadi, chunki ish bajarilgan u harakatlanadi.

Bayon qilingan oddiy, biroq juda ham qat'iy bo'limgan mulohazalar shuni ko'rsatadiki, ilgaridan temperatura nomi bilan ma'lum bo'lgan kattalik aslida molekulalar ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasidan iborat. Bunday natijani ideal gaz uchun chiqarganmiz, mulohazalarimizning to'g'riliqi faqat u bilangina chekhanishini bildirmaydi. Suyuq va qattiq jismarda ham xudi shunday bo'ladi deb aytish mumkin.

Ideal gaz uchun qo'llanganda temperatura molekulalar o'rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng deb hisoblash qulay, chunki bu gaz bosimi uchun (7) formulaning ko'rinishini soddalashtiradi. SHu tarzda aniqlangan temperaturani  $\Theta$  harfi bilan belgilab, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{mv^2}{2} = \Theta$$

Bunda (7) tenglama soda ko'rinishga keladi:

$$P = n\Theta$$

Temperaturani bunday aniqlashda u albatta energiya birliklarida (SI sistemasida – joul hisobida, SGS birliklar sistemasida – erg hisobida) o'lchanishi kerak. Biroq amalda temperaturaning bunday birligidan foydalanish noqulay. Energiyaning hatto ergdek kichik birligi ham temperaturaning o'lchov birligi bo'lish uchun juda kattalik qiladi. Bunday birlikdan foydalanilsa, odatdag'i temperaturalar ham haddan tashqari kichik sonlar bilan ifodalangan bo'lar edi. Masalan, muzning erish temperaturasi  $5,65 \times 10^{-14}$  erg ga teng bo'lar edi. Buning ustiga erglarda ifodalangan temperaturani o'lchash ham juda qiyin bo'lar edi.

SHu sababli, shuningdek, temperatura kattaligidan ilgaridan, ya'ni temperaturaning asl ma'nosini tushuntirib beruvchi molekulyar-kinetik tasavvurlar rivojlangunga

qadar foydalanim kelgani uchun (temperaturani) eski birliklarda – garchi bu birlik shartli bo'lsa-da, graduslarda o'lchanadi.

Biroq temperatura graduslarda o'lchansa, u holda energiya birligini graduslarga o'tkazuvchi tegishli koeffitsient kiritish kerak. Bu koeffitsientni r harfi bilan belgilash qabul qilingan. Bunda graduslarda o'lchangan T temperatura bilan o'rtacha kinetik energiya orasidagi bog'lanish quyidagi tenglik bilan ifodalanadi:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{\overline{mv^2}}{2} = rT;$$

bundan

$$\frac{\overline{mv^2}}{2} = \frac{3}{2} rT$$

SHuni eslatib o'tish kerakki, (8) formula biz nuqtaga o'xshash deb shartlangan molekulaga tegishli. Uning kinetik energiyasi *ilgarilanma* harakatining kinetik energiyasidir, bu harakatning tezligi uch tashkil etuvchiga ajratilishi mumkin. Molekulyar harakatlarning xaotikligi tufayli molekulaning energiyasi tezlikning uchala tashkil etuvchisi bo'ylab tekis taqsimlanadi deyish mumkin, bunda har bir tashkil etuvchiga  $\frac{1}{2}kT$  energiya to'g'ri keladi.

Energiya birligi bilan kelvin deb atalgan temperatura birligi orasidagi munosabatni ifodalovchi k ko'paytuvchi – *Bolsman doimiysi* deb ataladi. Uning son qiymati eksperimental aniqlanishi kerak. Bu doimiy alohida ahamiyatga ega bo'lgani tufayli uni ko'p metodlar bilan aniqlangan. Bu doimiyning hozirgi gvaqtida gi eng aniq qiymatini keltiramiz. SI birliklar sistemasida

$$k = 1,380662 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

SGS birliklar sistemasida

$$k = 1,380662 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$$

(8) formuladan temperaturaning noli molekulalar tartibsiz harakatining o'rtacha kinetik energiyasi nolga teng bo'lgandagi temperatura, ya'ni molekulalarning haotik harakati to'xtaydigan temperatura bo'lishi kelib chiqadi. Bu temperatura absolyut temperatura hisobi boshlanadigan va biz yuqorida eslatib o'tgan absolyut nol temperaturadir.

(8) formuladan, shuningdek, manfiy temperaturalar bo'lishi mumkin emasligi kelib chiqadi, chunki kinetik energiya – faqat musbat kattalik. Keyinroq, VI bobda ma'lum sistemalar uchun formal ravishda manfiy temperaturalar haqida tushuncha kiritish mumkin. To'g'ri, manfiy temperaturalar haqida ular absolyut noldan past bo'lgan temperaturalar va ular sistemasining muvozanat holatiga tegishli deb aytib bo'lmaydi.

Temperatura molekulalar harakatining *o'rtacha* energiyasi bilan aniqlangani uchun u, bosim singari, statistik kattalikdir. Bir yoki bir necha molekulaning «temperaturasi» haqida, «issiq» molekulalar va «sovuv» molekulalar haqida gapirib bo'lmaydi. Masalan, kosmik fazodagi gazning temperaturasi haqida gapirish ma'nosizdir, chunki kosmik fazoda hajm birligidagi molekulalar soni shunchalik kamki, ular odatdagi ma'noda gazni tashkil qilmaydi va molekulalar harakatining *o'rtacha* energiyasi haqida gapirib bo'lmaydi.

Gaz zarralarining xaotik harakatlari bilan bog'liq bo'lgan energiya juda kam. (8) formuladan va Boltzman doimiysining keltirilgan qiymatidan 1 K temperaturaga  $1,38 \times 10^{-23}$  J energiya mos kelishi ko'rinish turibdi. Hozirgi gvaqtida erishilgan eng past ( $10^{-6}$  K tartibida) temperaturada molekulalarning *o'rtacha* energiyasi taxminan  $10^{-29}$  joulga teng. Hatto sun'iy yo'l bilan olingan 100 million gradusga yaqin temperaturada (yadro bombasi portlaganda shunday temperaturaga erishish mumkin) zarralarning energiyasi juda oz~ $10^{-15}$  joul bo'ladi.

Temperaturaning fizika va texnikada juda muhim rol o'ynashi tufayli bu kattalik uzunlik, massa, vaqt singari SI birliklar sistemasi asosiy kattaliklari qatoriga, temperatura birligi kelvin esa bu sistemaning asosiy birliklari qatoriga kiritilgan (temperaturaning o'lchamligi Θ harfi bilan belgilanadi).

SI birliklar sistemasida temperatura birligi (kelvin) temperaturaning «eriyotgan muzning temperaturasi - qaynayotgan suvning temperaturasi» intervali asosida emas, balki «absolyut nol – suvning uchlanma nuqtasi temperaturasi» intervali asosida aniqlanadi. Suvning uchlanma nuqtasi – shunday temperaturaki, bu temperaturada suv, suv bug'i va muz muvozanatda bo'ladi. Suvning uchlanma nuqtasi temperaturasining qiymati 273,16 K ga aniq teng.

SHunday qilib, 1 *kelvin* *temperatura absolyut noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasiga* bo'lgan intervalining  $1/273,16$  qismiga teng.

Suvning uchlanma nuqtasi temperaturasi  $0,01^{\circ}\text{C}$  ga teng bo'lgani uchun gradusning TSelsiy va Kelvin shkalalaridagi o'lchami bir xil bo'ladi va har qanday temperatura yoki TSelsiy gradusi ( $^{\circ}\text{C}$ ) hisobida yoki kelvin (K) hisobida ifodalanishi mumkin.

### **Ideal gazning holat tenglamasi**

Yuqorida ilgari surilgan molekulyar-kinetik tasavvurlar va ular asosida hosil qilingan tenglamalar gazning holatini aniqlovchi kattaliklarni o'zaro bog'lovchi munosabatlarni topishga imkon beradi. Bu kattaliklar gazning bosimi r, uning temperaturasi T va ma'lum gaz massasi egallagan hajmi V dir. Bu kattaliklar *holat parametrlari* deb ataladi.

Sanab o'tilgan bu uch kattalik mustaqil kattaliklar emas. Ularning har biri qolgan ikkitasining funksiyasidir. Uchala kattalik – gazning berilgan massasi uchun bosim, hajm va temperaturani bog'lovchi tenglamani *holat tenglamasi* deb ataladi va umumiy ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$p = f(V, T).$$

Binobarin, gazning holati faqat ikki parametr (masalan, bosim va hajm, bosim va temperatura yoki hajm va temperatura) bilan aniqlanadi, uchinchi parametr esa qolgan ikkitasi bilan bir qiymatli aniqlanadi. Agar holat tenglamasi aniq ma'lum bo'lsa, ikki parametrni bilgan holda uchinchisini topish mumkin.

Gazlarda (faqat gazlardagina emas) turli protsesslarni o'rganish uchun holat tenglamasining grafik tasviridan foydalanish qulay. Bunda bir parametrning berilgan o'zgarmas qiymati uchun ikkinchi parametrning uchinchisiga bog'lanish egri chizig'i chiziladi. Masalan, temperaturaning berilgan aniq o'zgarmas qiymati uchun gaz bosimining uning hajmiga bog'lanishi 4-rasmida tasvirlangandek ko'rinishda bo'ladi, bu yerda turli egri chiziqlar temperaturaning turli qiymatlariga mos keladi: temperatura qancha yuqori bo'lsa, grafikda egri chiziq shuncha yuqorida joylashadi. Gaz holati bunday diagrammada nuqta bilan tasvirlanadi. Bir parametrning ikkinchi parametrga bog'lanish egri chizig'i holat o'zgarishini ko'rsatadi va u gazdagi protsess deb ataladi. Masalan, 4-rasmida tasvirlangan egri chiziqlar gazning berilgan o'zgarmas temperaturada kengayishini yoki siqilishini tasvirlaydi.

Kelgusida biz molekulyar sistemalardagi turli protsesslarni o'rganishda shunga o'xshash grafiklardan keng foydalanamiz.

Ideal gazlar uchun holat tenglamasini kinetik nazariyaning (7) va (8) asosiy tenglamalaridan oson hosil qilish mumkin.

Haqiqatan ham, (7) tenglamaga molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi o'rniga uning (8) tenglamadagi ifodasini qo'yib, quyidagini olamiz:

$$p=nkT \quad (9)$$

Agar V hajmda N zarra bo'lsa, u holda  $n=N/V$ ; bu ifodani (9) ga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$pV=NkT \quad (10)$$

Gaz holatining uchala parametri kirgan bu tenglama ideal gazlarning holat tenglamasidir.

Biroq bu tenglamadagi bevosita o'lchab bo'lmaydigan zarralar soni N o'rniga oson o'lchash mumkin bo'lgan gazning M massasini kiritib, tenglamani o'zgartirish mumkin. Bunday o'zgartirish uchun *gramm-molekula* yoki *mol* haqidagi tushunchadan foydalanamiz. Moddaning nisbiy molekulyar massasiga (ba'zida molekulyar og'irligiga deb gapiriladi) teng bo'lgan, grammarda ifodalangan massa miqdoriga mol deb atalishini eslatib o'tamiz. Modda miqdorining o'ziga xos bu birligi shunisi bilan ajoyibki, har qanday moddaning molida Ayni birday molekulalar soni bo'ladi. Haqiqatan ham, ikki qandaydir moddaning nisbiy massalarini  $\mu_1$  va  $\mu_2$  bilan belgilasak, bu moddalarning molekulalari massalarini  $m_1$  va  $m_2$  bilan belgilasak, o'z-o'zidan kelib chiqadigan quyidagi tengliklarni yozish mumkin:

$$\mu_1 = m_1 N_1, \mu_2 = m_2 N_2 \quad (11)$$

bu yerda,  $N_1$  va  $N_2$  – bu moddalarning bir molidagi zarralar soni. Nisbiy massalaning ta'rifidan  $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{m_1}{m_2}$  ekanligi kelib chiqadi, shuning uchun (11)

tengliklardan birinchingisini ikkinchisiga bo'lib,  $N_1 = N_2$  ekanini topamiz, ya'ni har qanday moddaning har bir molida birday sonda molekulalar bo'ladi.

Barcha moddalar uchun bir xil bo'lgan moldagi zarralar soni *Avogadro soni* deb ataladi. Biz uni  $N_0$  bilan belgilaymiz. SHunday qilib, biz molnii alohida kattalik – *modda miqdori* sifatida ta'riflashimiz mumkin:

*1mol Avogadro soniga teng sondagi molekulalardan yoki boshqa zarralardan (masalan, modda atomlardan tashkil topgan bo'lsa, atomlardan) iborat bo'lgan modda miqdoridir.*

Agar gazning berilgan massasidagi molekulalar soni  $N$  ni Avogadro soni  $N_0$  ga bo'lsak, u holda gazning shu massadagi mollar soni kelib chiqadi. Biroq bu kattalikning o'zini gazning  $M$  massasini uning nisbiy massasi  $\mu$  ga bo'lib topish ham mumkin, shuning uchun

$$\frac{M}{\mu} = \frac{N}{N_0}; \text{бундан } N = \frac{M}{\mu} N_0$$

$N$  ning bu ifodasini (10) formulaga qo'yamiz. Bunda holat tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$pV = \frac{M}{\mu} N_0 rT \quad (12)$$

Bu tenglamaga ikki universal doimiy – Avogadro soni  $N_0$  va Bolsman doimiysi r kiradi. Ulardan birini, masalan, Bolsman doimiysi bilgan holda boshqasini (Avogadro sonini) (12) formuladan foydalangan holda oddiy tajribalar yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun nisbiy massasi  $\mu$  ning qiymati aniq bo'lgan biror gaz olib, bu gaz bilan  $V$  hajmli idishni to'ldirish, bu gazning  $P$  bosimini va  $T$  temperaturasini o'lchash, bo'sh (gazi so'rib olingan) va gaz to'ldirilgan idishni tortish yo'li bilan uning  $M$  massasini aniqlash kerak. Avogadro soni  $6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup> ga teng bo'lib chiqadi.

Avogadro sonining hozirgi gvaqtida gi eng aniq qiymati

$$N_0 = 6,0220943 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Universal konstantalar ko'paytmasi  $N_0 k$  ham universal doimiy bo'lishi ravshan. Bu kattalik *universal gaz doimiysi* degan nomni olgan va  $R$  harfi bilan belgilanadi:

$$R = N_0 k \approx 6,02 \times 10^{23} \times 1,38 \times 10^{-23} = 8,31 \text{ J/mol} \times \text{K} = 8,31 \times 10^7 \text{ erg/mol} \times \text{K}.$$

( $R$  ning aniq qiymati  $R = 8,31441 \text{ J/mol} \times \text{K}$ )

(12) tenglamada  $N_0 k$  ni universal doimiy  $R$  bilan almashtirib quyidagi formulani olamiz:

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \quad (13)$$

Ideal gaz holat tenglamasining bunday ko'rinishi *Klapeyron – Mendeleyev tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamaga kiruvchi  $M/\mu$  kattalik gazning berilgan massasidagi mollar sonini bildiradi. Bir mol gaz uchun, ya'ni  $M = \mu$  bo'lgan hol uchun (13) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$pV = RT$$

**Mustahkamlash uchun savollar.**

- 1.** Klapeyron – Mendeleyev tenglamasi ayting?
- 2.** Universal gaz doimiysini ayting?
- 3.** Avogadro sonini mazmunini tushuntiring?
- 4.** Holat parametrlari ayting?
- 5.** Nisbiy molekulyar massa deganda nimani tushunasiz?
- 6.** Modda miqdori deganda nimani tushunasiz?
- 7.** Universal gaz doimiysini fizik ma’nosini tushuntiring?
- 8.** Temperaturaning fizik ma’nosini tushuntiring?
- 9.** Bosimning fizik ma’nosini tushuntiring?
- 10.** 1 kelvinning deganda nimani tushunasiz?
- 11.** Bolsman doimiysini fizik ma’nosini tushuntiring?

### **3-Mavzu: Ideal gaz qonunlari. Gaz molekulalarining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati.**

#### **Reja:**

1. Ideal gaz qonunlari.
2. Gaz molekulalarining tezliklari.
3. Shtern tajribasi.
4. Broun harakati.

**Tayanch so'z va iboralar:** Ideal gaz, gaz bosimi, temperatura, molekulyar - kinetik nazariya, Ideal gaz qonunlari. Gaz molekulalarining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati.

#### **Ideal gaz qonunlari**

Gazlar tabiatini boshqaruvchi ilgaridan ma'lum bo'lgan qonunlar o'z vaqtida tajriba yo'li bilan topilgan (Boyl – Mariott qonuni XVII asrdayoq aniqlangan edi). Bu barcha qonunlarning yuqorida keltirilgan chiqarilishi mumkin ekaniga oson ishonch hosil qilish mumkin.

**Boyl – Mariott qonuni.** Gazni uning temperaturasi o'zgarmas saqlanadigan sharoitlarda (bunday sharoitlar *izotermik* sharoitlar deb yuritiladi) ko'raylik. Agar (13) tenglamada  $T=\text{const}$  deb olinsa, uning o'ng qismi o'zgarmas kattalik bo'lishi ravshan:

$$PV = \text{const} \quad (14)$$

*Izoterma tenglamasi* deb ataladigan bu formula Boyl-Mariott qonunini ifodalaydi, bu qonunga muvofiq, o'zgarmas temperaturada gaz siqilsa yoki kengaytirilsa, ya'ni uning hajmi o'zgartirilsa, uning bosimi shunday o'zgaradiki, bunda bosimning hajmga ko'paytmasi o'zgarmas kattalik bo'lib qolaveradi. Turli temperaturalar uchun r ning V ga bog'lanish grafiklari 4-rasmida tasvirlangan. (14) formuladan *izotermalar* deb ataluvchi bu egri chiziqlarning giperbola ekanligi ko'riniib turibdi.

Boyl-Mariott qonuni o'zgarmas temperaturada gaz hajmining o'zgarishi bilan uning bosimi qanday o'zgarishini (albatta, uning massasi o'zgarmas bo'lganda) ko'rsatadi.

**Ideal gazning siqiluvchanligi. Izotermik siqiluvchanlik koeffitsenti.** Gazning, boshqa har qanday jismning ham, hajmi o'zgarishi bilan bosimni o'zgartirish xossasi *siqiluvchanlik* deb ataladi. Agar hajm o'zgarishi temperatura o'zgarmagani holda ro'y beradigan bo'lsa, u holda siqiluvchanlik hajmning bosimni bir birlikka o'zgartiruvchi nisbiy o'zgarishi bilan aniqlanuvchi *izotermik siqiluvchanlik koeffitsenti*  $\chi$  bilan xarakterlanadi. U shunday ifodalanadi:

$$\chi = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right)_T \quad (15)$$

Bu yyerda  $dV$  – gaz hajmining bosimni dp miqdorga o'zgartiruvchi o'zgarishi; V-dastlabki hajm (biror kattalikning nisbiy o'zgarishi deb bu kattalik o'zgarishining uning dastlabki qiymatiga nisbatiga aytildi). Hosiladagi T indeksi hosilaning  $T=\text{const}$  da olinishini ko'rsatadi.

Ideal gaz uchun  $\chi$  ning qiymatini hisoblash oson. (13) holat tenglamasidan quyidagini keltirib chiqaramiz:

$$d(pV) = Vdp + pdV = 0.. \left( \frac{M}{\mu} RT = const \right)$$

Bundan

$$\chi = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right) = -\frac{1}{p} \quad (16)$$

Minus ishora hajmning *ortishi* bosimning *kamayishiga* olib kelishini ko'rsatadi. Ideal gazning izotermik siqilish koeffitsenti gaz bosimining teskari kattaligiga teng va SI sistemasida  $m^2/N$ , SGS sistemasida esa  $sm^2/dina$  hisobida o'lchanadi. Bosim ortishi bilan  $\chi$  kattalik albatta kamayadi, chunki bosim qancha katta bo'lsa, gazda yanadako'proq siqilish imkoniyati shuncha kam bo'ladi.

**Gey-Lyussak qonuni.** Endi gaz uning z bosimi o'zgarmas, biroq temperaturasi o'zgaradigan sharoitlarda bo'lsin. Agar gazni qo'zg'aluvchan porshen bilan yopilgan tsilindrqa qamalsa, shunday sharoit qosil qilish mumkin (5-rasm). Bunday tsilindrda temperaturaning o'zgarishi porshenni siljитib, hajmni o'zgartiradi. Bosim esa o'zgarmas bo'ladi.

(13) holat tenglamasidan bu holat gaz hajmining uning temperurasiga nisbati o'zgarmas bo'lishi ko'rinish turibdi:

$$\frac{V}{T} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{p} = const \quad (17)$$

*Izobara tenglamasi* deb ataladigan bu tenglama (o'zgarmas bosimda bo'ladigan protsess *izobarik* protsess deb yuritiladi). Gey-Lyussakning mashhur qonunini ifodalaydi (bu qonunni ba'zida, etarlicha asos bo'limgani holda SHarl qonuni deb yuritiladi).

Izobarning  $V=f(T)$  grafigi koordinatalar boshidan boshlanuvchi to'g'ri chiziq bo'lishi (17) dan ko'rinish turibdi.

**Gazning o'zgarmas bosimda hajmiy kengayish koeffitsenti.** Hajmiy kengayish koeffitsenti  $\alpha$  siqilish koeffitsentiga o'xshash ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \quad (18)$$

(13) holat tenglamasidan  $\left( \frac{dV}{dT} \right)_p = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{p}$  ekanligi kelib chiqadi, bundan

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right)_p = \frac{1}{T},$$

ya'ni ideal gazning hajmiy kengayish koeffitsenti absolyut temperaturaning teskari kattaligiga teng ekan.  $0^{\circ}\text{S}$  da bu koeffitsent, masalan,  $1/273 \text{ K}^{-1}$  ga teng bo'ladi.

**Izoxorik protsess.** Gaz holati tenglamasi (13) dan ko’rinib turganidek hajm o’zgarmas bo’lgan sharoitda (bunday sharoitlarda bo’ladigan protsesslar *izoxorik* protsesslar deb ataladi) gaz temperaturasining o’zgarishi bilan uning bosimining o’zgarishi shunday bo’ladiki, bunda r/T nisbat o’zgarmas bo’ladi:

$$\frac{p}{T} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{V} = const \quad (19)$$

Biroq bunday tasdiqni tabiat qonuni deb bo’lmaydi. Ideal gazning temperatura shkalasini hosil qilishda, xudi shunday (3-§ da aytganimizdek) r/T=const deb faraz qilinadi. SHuning uchun bu «Qonunni» eksperimental tekshirish natijasida bundan boshqacha xulosa bo’lishi mumkin emas.

**Avogadro qonuni.** Ideal gaz holati tenglamasidan bevosita Avogadro qonuni kelib chiqadi. Bu qonunga muvofiq, *birday bosim va temperaturalarda har qanday gazning teng hajmidagi molekulalar soni bir xil bo’ladi*. Haqiqatan ham, aytaylik, birday bosim va temperaturaladagi ikki turli gazning ikkita birday hajmi berilgan bo’lsin. Ularning har biri uchun holat tenglamasini (10) shaklda yozish mumkin:

$$pV=N_1kT, \quad pV = N_2kT,$$

bu yerda  $N_1$  va  $N_2$  – hajmlarning har biridagi molekulalar soni. Bu ikki tenglikdan

$$N_1 = N_2$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu Avogadro qonuninidir.

Bu qonundan, aksincha, molekulalari soni birday bo’lgan turli gazlarning birday bosim va birday temperaturalarda birday hajm egallashi kelib chiqadi. SHuning uchun ixtiyoriy gazning bir moli berilgan bosim va temperaturalarda birday hajm egallaydi. Xususan,  $0^{\circ}\text{S}$  ( $273,15\text{K}$ ) temperatura va 1 atm ( $1,01 \times 10^5 \text{N/m}^2$ ) bosimda har qanday bir mol gaz

$$V_0 \approx \frac{RT}{p} \approx \frac{8,31 \times 273}{1,01 \times 10^5} \approx 2,24 \times 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{моль}$$

hajmni egallaydi. Aniq qiymati:  $V_0 = 2,241383 \times 10^{-2} \text{ м}^3/\text{мол}$ .

Bunday (normal) sharoitlarda  $1\text{m}^3$  dagi molekulalar soni  $n_0$  ni hisoblash ham oson:

$$n_0 = \frac{N_0}{V_0} = \frac{6,02 \times 10^{23}}{2,23 \times 10^{-2}} = 2,7 \times 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

Bu son *Loshmidt soni* deb ataladi.

**Dalton qonuni.** Aytaylik V hajmli idishda issiqlik muvozanati holatida bo’lgan bir-biri bilan ximiyaviy reaktsiyaga kirishmaydigan turli gazlarning aralashmasi bo’lsin. Bunday aralashma uchun holat tenglamasi

$$pV = (N_1 q N_2 q N_3 q \dots) kT$$

ko'inishda bo'ladi, bu yyerda  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ , ... aralashmadagi tegishli komponentlarning molekulalari soni. Bundan

$$N_1 q N_2 q N_3 q \dots q N$$

Ekanligi ravshan, bunda  $N$  – idishdagi umumiy molekulalar soni.

Gazning bosimi

$$p = \frac{N_1}{V} rT + \frac{N_2}{V} rT + \frac{N_3}{V} rT + \dots$$

Bu ifoda molekulalarning har bir gruppasi boshqa gruppaga molekulalarning qanday bosim berishiga bog'liq bo'lмаган holda bosim berishni ko'rsatadi. Buning sababi shuki, ideal gazda molekulalararo ta'sir yo'q, molekulalar boshqa molekulalarning mavjudligidan «bebabar». quyidagi

$$\frac{N_1}{V} rT = p_1, \dots \frac{N_2}{V} rT = p_2, \dots \frac{N_3}{V} rT = p_3, \dots$$

ifodalar  $V$  hajmni egallagan aralashmaning har bir komponentining bosimid, ya'ni  $r_1, r_2, r_3, \dots$  bosimlar aralashma komponentlarining *partsial* bosimidir. Biror gazning – gaz aralashmasi komponentining – partsial bosimi deb anna shu gazning yolg'iz o'zi aralashma egallagan butun hajmni egallaganda ko'rsatishi mumkin bo'lган bosimga aytishini eslatib o'tamiz.

SHunday qilib,

$$r = r_1 q r_2 q r_3 q \dots,$$

ya'ni gazlar aralashmasining bosimi uning komponentlari partsial bosimlarining yig'indisiga teng. Dalton qonunining mazmuni shundan iborat bo'lib, albatta u faqat ideal gazlar uchungina o'rinnlidir. Tajribaning ko'rsatishicha, etarlicha yuqori bosimlarda (o'nlab atmosfera tartibida), ya'ni gazlarni ideal deb hisoblash mumkin bo'lмаган bosimlarda Dalton qonunidan birmuncha chetlanishlar bo'lishi kuzatiladi.

SHunday qilib, gazlar kinetik nazariyasining asosiy natijalaridan foydalanib, gazlarning xatti-harakatini boshqaruvchi, shuningdek bu nazariya rivojlantirilgunga qadar eksperimental aniqlangan qonunlarni hosil qildik. Bu ma'lum darajada nazariyaning to'g'rilingini ko'rsatadi, uni tajribada sinalgan deb hisoblashga imkon beradi. Bu yana shuni ko'rsatadiki, yuqorida ko'rigan gaz qonunlari faqat ideal gazlargina, umuman aytganda, gazlar kinetik nazariyasi  $r_q$  paydo bo'lguniga qadar noma'lum bo'lган gazlargagini tegishli ekan. Agar ideallik shartlari buzilsa, gaz qonunlaridan chetga chiqishlar kuzatiladi. SHuning uchun gazning bu qonunlarga qat'iy bo'ysunishi uning idealligining tasdiqi bo'ladi, deb hisoblash mumkin. SHuning uchun ba'zida, masalan, Boyl-Mariott yoki Gey-Lyussak qonuniga bo'ysunuvchi gazni ideal gaz deb gapiriladi.

### Gaz molekulalarining tezliklari

Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi molekulalar ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi bilan absolyut temperatura orasida bog'lanish o'rnatadi:

$$\frac{\overline{mu^2}}{2} = \frac{3}{2} rT.$$

SHu bilan molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi ham aniqlanadi:

$$\sqrt{\bar{u}} = \bar{u} = \sqrt{\frac{3rT}{m}}, \quad (20)$$

bu tezlik berilgan gaz uchun (molekula massasining berilgan m qiymatida) faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi. Agar (20) tenglama o'ng qismidagi ildiz osti ifodaning surati va maxrajini Avogadro soniga ko'paytirilsa, u holda  $N_0r=R$  va  $N_0m=\mu$  bo'lgani uchun

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3rT}{\mu}} \quad (21)$$

Holat tenglamasi (4.6) ga ko'ra  $pV=RT$  bo'lgani uchun (bu yerda V- bir mol gaz egallagan hajm) (21) tenglikni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \quad (22)$$

bu yerda  $\rho$ - gazning zichligi, uning  $\mu/V$  ga, ya'ni mol massasining uning hajmiga bo'linganiga tengligi ravshan. (22) formula molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi sof makroskopik kattaliklar – gazning bosimi va uning zichligini o'lchash natijalaridan hisoblanishi mumkin ekanini ko'rsatadi. Masalan, azotning zichligi atmosfera bosimi va  $0^{\circ}\text{S}$  temperaturada  $1,25 \text{ kg/m}^3$  ga teng. Bu holda azot molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3.1013.10^5}{1,25}} \approx 500 \text{ m/sec}$$

ga teng. Vodorodning zichligi xudi shu sharoitlarda azotnikidan taxminan 15 marta kichik. SHuning uchun vodorod molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi deyarli 4 marta katta va taxminan 2000 m/sek ga teng.

SHunisi qiziqliki, gaz molekulalarining tezligi ana shu gazda tovushning tezligiga yaqin. Buning sababi – gazda tovush to'lqinlari harakatlanuvchi molekulalar vositasida uzatiladi. SHuning uchun gazda tovushning tezligi c quyidagi

$$c = \sqrt{p/\rho}$$

formula yordamida taqriban aniqlanishiga taajjublanmasa ham bo'ladi.

Gaz molekulalari tezligini eksperimental aniqlash katta ahamiyatga ega, chunki bu yo'l bilan kinetik nazariya uchun juda muhim bo'lgan Boltzman doimiysining qiymatini tajribada aniqlash mumkin. Gaz molekulalarining tezligini bevosita tajriba yo'li bilan 1920 yilda SHtern aniqlagan edi.

**SHtern tajribasi.** Tajriba sxemasi 6-rasmida ko'rsatilgan. Tezligi o'rganilayotgan zarralar (bizning holda atomlar) manbai sifatida kumush qatlami qoplangan L platina simi xizmat qiladi. Bu sim ikki tsilindrik diafragmalar bilan o'ralgan bo'lib, diafragmalarda sim bilan bir vertikal tekislikda yotadigan qilib  $S_1$  va  $S_2$  tor tirqishlar ochilgan. Bu qurilmaning hammasi R tsilindr ichiga joylashtirilgan bo'lib, uning ichki sirtida  $S_2$  tirqish qarshisiga nishon – olib qo'yiladigan jez plastinka joylashtirilgan. Bu sistema butunicha yuqori ( $\sim 10^{-6}$  tor) vakuum hosil qiladigan nasos qalpog'i ostiga joylashtirilgan bo'lib, L sim tortilgan o'q atrofida katta tezlik bilan aylana oladi.

L sim orqali elektr toki o'tkazish yo'li bilan SHtern uni kumush sezilarli darajada bug'lana oladigan temperaturagacha (1235K) qizdirgan. Bunda tezliklari simning temperaturasiga mos bo'lган kumush atomlari barcha tomonlarga uchib chiqadi. Bu atomlarning bir qismi  $S_1$  va  $S_2$  tirkishlar orqali o'tadi va shu tariqa tirkishlar yordamida atomlar oqimidan bir yo'nalishda harakatlanuvchi va bir-biri bilan to'qnashmaydigan aniq chegarali, tor dasta qirqib olinadi (molekulalarning bunday yo'nalgan oqimlari *molekulyar oqimlar* degan umumiyl nom bilan yuritiladi).

Butun sistema qo'zg'almagan gvaqtida kumushning dastani hosil qilgan atomlari nishonda 6-rasmida A nuqta bilan belgilangan joyida kondensatsiyalanadi va nishonda go'yo  $S_2$  tirkishning polosa ko'rinishidagi tasvirini hosil qiladi. Biroq asbob harakatlantirilganda, dasta atomlari endi A nuqtaga tushmay, A ga nisbatan biror  $\delta$  masofaga siljiydi (rasmida  $\delta=AA'$ ). Atomlar  $S_2$  tirkishdan nishongacha bo'lган r masofani v tezlik bilan harakatlanib  $t = \frac{r}{v}$  vaqt ichida o'tadi. Biroq bu vaqt ichida aylanayotgan tsilindrning har bir nuqtasi  $2\pi nRt$  ga teng bo'lган  $\delta$  masofaga siljiydi (bu yerda  $n$  -P tsilindrning bir sekunda aylanishlari soni, R- bu tsilindrning radiusi):

$$\delta = 2\pi nRt.$$

Bu ifodaning t ning o'rniga uning r/v qiymatini qo'yib yozamiz:

$$\delta = \frac{2\pi nRr}{v} \quad (23)$$

Asbob boshqa tomonga aylantirilganda polosa A nuqtadan boshqa tomonga ana shunday masofaga siljiydi. SHunday qilib, nishonda bir-biridan  $2\delta$  masofaga joylashgan ikki polosa paydo bo'ladi. Bu  $\delta$  ning o'lchanish aniqligini oshiradi.

Polosalar orasidagi masofani o'lchab va n, k va R ni bilgan holda (23) formulaga ko'ra simning temperurasida atomlarning v tezligi hisoblanadi.

Atomlarning shunday yo'l bilan o'lchangan tezliklari (20) formulaga ko'ra hisoblangsan tezliklariga juda yaqin bo'lib chiqdi.

SHtern tomonidan ishlab chiqilgan molekulyar dastalar metodi zarralarning turli xossalariini tadqiq qilishda hozirgacha keng qo'llaniladi.

SHu narsani qayd qilish kerakki, SHtern tajribalarida nishonda hosil bo'lган siljigan polosalar ancha keng yoyilgan edi va siljimagan ingichka, aniq polosadan farq qilib, tirkishning tasvirini aks ettirmas edi. Kumush atomlari manbadan turli tezliklar bilan uchib chiqishi nazarda tutilsa, shunday bo'lishi tabiiy ekanligi ayon bo'ladi. Tezroq harakatlanuvchi atomlarning sekinroq harakatlanuvchi atomlarga qaraganda asbob qo'zg'almas turgandagi tushgan joylariga nisbatan kamroq siljishi ravshan. Polosalar orasidagi  $2\delta$  masofa ularning kumush eng zich bo'lган, ya'ni molekulalarning eng ko'p qismi kelib tushgan qismlari orasidagi masofadir. Nishonga tezliklari o'rtacha kvadratik tezlikdan taxminan 1,3 marta katta bo'lган molekulalarning eng maksimal zichlikda tushishini ko'rsatish mumkin. SHuning uchun (23) formulada  $\delta$  kumush zarralarning eng zich qismlari orasidagi masofaning yarmi ekanligini nazarga olsak, bu formuladan hisoblangan v tezlik

$$v \approx 1,3\bar{v}$$

bo'ladi.

Biz bayon qilgan SHtern tajribalaridan o'rtacha kvadratik tezlik qiymatini topib, (20) formuladan foydalanib Bolsman doimiysining qiymatini aniqlash mumkin. SHtern tajribalari faqat molekulalarning o'rtacha kvadratik tezliklarini aniqlashgagina emas, balki kumush zarralarning yoyilishiga ko'ra molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimlanishini ham qo'polroq bo'lsa-da, aniqlashga imkon beradi.

### **Broun harakati**

Molekulalar harakatining realligini eng ishonarli tasdiqlaridan biri *Broun harakati* deb atalgan hoddisa bo'lib, uni ingliz botanigi Broun 1827 yilda suvdagi eng kichik muallaq sporalarni o'rganishda kashf qilgan. Broun juda kattalashtiruvchi mikroskop bilan qarab, ularning go'yo dahshatli fantastik o'yinga tushgandek uzuksiz tartibsiz harakatlanishini kuzatdi.

Keyingi tajribalar bu harakatlarning zarralarning biolgik kelib chiqishi bilan yoki suyuqlikning qandaydir harakati bilan bog'liq emasligini ko'rsatdi. Suyuqlikda yoki gazda muallaq bo'lgan har qanday kichik zarralar shunday harakatlanar ekan. Masalan, tinch havoda tutun zarralari ham ana shunday tartibsiz harakatlanadi. Suyuqlik yoki gazda muallaq zarralarning bunday tartibsiz harakati Broun harakati deb nom olgan.

Maxsus tadQiqotlar Broun harakatining zarralar muddasining xossalari emas, ular muallaq turgan suyuqlik yoki gazning xossalari bog'liq bo'lishini ko'rsatdi. Broun zarralarining harakat tezligi temperaturaning ortishi va zarralar o'lchamlarining kichiklashishi bilan ortib borar ekan.

Agar muallaq zarralarning harakati suyuqlik yoki gazning harakatlanayotgan molekulalari tomonidan beriladigan zarbalar tufayli yuzaga keladi deb olsak, bu qonuniyatlarni tushuntirish oson bo'ladi.

Albatta, har bir Broun zarrasi har tomonidan shunday zarbalarga duch keladi. Molekulalar harakati tamomila tartibsiz bo'lganida zarraga biror yo'nalishda bo'layotgan zarbalar qarama-Qarshi yo'nalishdan bo'ladigan zarbalarga son jihatidan aniq teng deb qabul qilish va bu turkilarning hammasi bir-birini batamom kompensatsiya qilib, zarra o'z o'rniда qo'zg'almasdan qolishi kerak edi.

Agar zarralar haddan tashqari kichik bo'lmasa shunday bo'ladi, albatta. Biroq mikroskopik zarralar ( $10^{-4} - 10^{-5}$  sm) to'g'risida gap ketganda ish boshqacha bo'ladi. CHunki molekulyar harakatlarning xaotikligidan turli tomonidan bo'layotgan zarbalarning *o'rtacha* bir xil bo'lishi kelib chiqadi, xolos. Biroq suyuqlik yoki gaz singari statistik sistemada hamma vaqt o'rtacha qiymatdan chekkaga chiqishlar bo'ladi. U yoki bu kattalikning kichik hajmda yoki vaqtning kichik oraliqlari davomida o'rtacha qiymatlaridan chekkaga chiqishlari *fluktuatsiyalar* deb ataladi. Masalan, suyuqlik yoki gazda odatdagи o'lchamli jismlar bo'lsa, bu jismga molekulalar tomonidan beriladigan zarbalar soni shuncha ko'pki, alohida turkilarni ham, qaysi yo'nalishdan bo'layotgan turkililar tasodifan boshqa yo'nalishdagi turkilardan ortiq ekanligini ham sezish mumkin emas. Kichik zarralar uchun esa ularning molekulalar tomonidan olayotgan zarbalarining umumiyligi soni uncha ko'p emas, shuning uchun dam bir yo'nalishda, dam boshqa yo'nalishda bo'layotgan zarbalarning zo'rayishini qayd qilish mumkin va zarbalar sonining ana

shunday fluktuatsiyasi tufayli muallaq zarralarning Broun harakati deb nomlangan xarakterli talvasali harakatlari yuzaga keladi.

Broun zarralarining harakati – molkulyar harakatlar emasligi ravshan: biz alohida molekula zarbasing natijasini emas, bir yo’nalishdagi zARBalar sonining qarama-Qarshi yo’nalishdagi zARBalar sonidan katta ekanligining natijasini ko’ramiz. Broun harakati faqat tartibsiz molekulyar harakatlarning o’zi mavjud ekanligini juda aniq namoyon qiladi, xolos.

SHunday qilib, Broun harakatining yuzaga kelishiga sabab shuki, molekulalarning zARRaga turli yo’nalishlardan beradigan zARBasi sonining tasodifiy farqi tufayli biror yo’nalishda qandaydir teng ta’sir etuvchi kuch paydo bo’ladi. Fluktuatsiyalar juda qIqa vaqtli bo’lishi tufayli kichik vaqt oralig’idan so’ng teng ta’sir etuvchining yo’nalishi ham o’zgaradi, u bilan birga zARRaning harakat yo’nalishi ham o’zgaradi. Molekulyar harakatning xaotikligini aks ettiruvchi Broun harakatining xaotikligi ana shundan kelib chiqadi.

Broun harakatining yuqoridagi sifatiy bayonini endi bu hodisani miqdoriy tomondan o’rganish bilan to’ldiramiz. Uning miqdoriy nazariyasi birinchi marta Eynshteyn va undan mustaqil ravishda Smoluxovskiy (1905 yil) tomonidan berilgan. Biz bu yerda nazariyaning asosiy munosabatini avtorlardan ko’ra oddiyroq yo’l bilan chiqarishni beramiz.

Molekulalar zARBalarining batamom kompensatsiyalanmasligi tufayli Broun zARRasiga, biz ko’rganimizdek, biror natijaviy kuch ta’sir qiladi va shu kuch ta’sirida zARRa harakatlanadi. ZARRaga bu kuchdan tashqari muhitning qovushqoqligi tufayli paydo bo’lgan va / kuchga qarama-Qarshi yo’nalgan f ishqalanish kuchi ham ta’sir qiladi.

Soda bo’lishi uchun zARRa a radiusli sfera shaklida deb faraz qilamiz. U holda f ishqalanish kuchi Stoks formulasi bilan ifodalanishi mumkin:

$$f = 6\pi\eta av,$$

bu yerda  $\eta$  - suyuqlik (yoki gaz) ning ichki ishqalanish koeffitsenti, v – zARRaning harakat tezligi. SHuning uchun zARRaning harakat tenglamasi (Nyutonning ikkinchi qonuni) bunday ko’rinishda bo’ladi:

$$mr = F - 6\pi\eta ar. \quad (24)$$

Bu yerda m – zARRaning massasi, r – ixtiyoriy koordinatal sistemasiga nisbatan radius-vektori,  $r=v$  – zARRaning tezligi. / - molekulalarning zARBalari tufayli hosil bo’lgan kuchlarning teng ta’sir etuvchisi.

r radius-vektorning koordinata o’qlaridan biriga, X o’qiga proektsiyasini ko’raylik. Bu tashkil etuvchi uchun (24) ienglamani shunday qayta yozish mumkin:

$$mx = F_x - 6\pi\eta ax, \quad (25)$$

bu yerda  $F_x$  – natijaviy F kuchning X o’q bo’yicha tashkil etuvchisidir.

Bizning vazifamiz Broun zARRasining molekulyar zARBalar ta’sirida x siljishini aniqlashdan iborat. Bu zARRalarning har biri doim molekulalalar zARBasiga duch keladi va bunday zarbadan keyin o’zining yo’nalishini o’zgartiradi. Turli zARRalarning siljishi kattaligi jihatidan ham, yo’nalishi jihatidan ham farq qiladi. Barcha zARRalarning siljishlari yig’indisining ehtimoliy qiymati nolga teng, chunki teng

ehtimolli siljishlarning ishorasi musbat ham, manfiy ham bo'lishi mumkin. SHuning uchun zarralar siljishi proektsiyasining o'rtacha qiymati, ya'ni  $\bar{x}$  nolga teng bo'ladi. Biroq, siljishlar kvadratining o'rtacha qiymati, ya'ni  $\bar{x}^2$  kattalik nolga teng bo'lmaydi, chunki  $x$  ning ishorasi o'zgarganida  $x^2$  ning ishorasi o'zgartiraydi. SHuning uchun (25) tenglamani unga  $\bar{x}^2$  kattalik kiradigan qilib o'zgartiramiz. Buning uchun bu tenglamaning har ikkala qismini  $x$  ga ko'paytiramiz:

$$m\ddot{x} = xF_x - 6\pi\eta a \dot{x}.x. \quad (26)$$

quyidagi ayniyatlardan foydalanamiz:

$$x\ddot{x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2(x^2)}{dt^2} - \left( \frac{dx}{dt} \right)^2, \quad x\ddot{x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d(x^2)}{dt}$$

Bu ifodalarni (26) tenglamaga qo'yamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{d^2(x^2)}{dt^2} - m \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 = -3\pi\eta a \frac{d(x^2)}{dt} + xF_x$$

Bu tenglama har qanday zarra uchun o'rini va agar o'rtacha qiymat etarlicha katta sondagi zarralar uchun olingan bo'lsa, u tenglamaga kiruvchi kattaliklarning o'rtacha qiymatlari uchun zam o'rinnlidir. SHuning uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{d^2(\bar{x}^2)}{dt^2} - m \left( \frac{\bar{dx}}{dt} \right)^2 = -3\pi\eta a \frac{d(\bar{x}^2)}{dt} + \bar{xF}_x,$$

bu yerda  $\bar{x}^2$  - zarra siljishi kvadratining o'rtacha qiymati,  $\left( \frac{\bar{dx}}{dt} \right)^2$  esa uning tezligi kvadratining o'rtacha qiymati. Tenglikka kiruvchi  $\bar{xF}_x$  kattalikning o'rtacha qiymati esa nolga teng, chunki zarralar soni ko'p bo'lganda  $x$  va  $\bar{x}$  ko'pincha birday musbat va manfiy qiymatlar qabul qiladi.

SHuning uchun (25) tenglama shunday ko'rinishga keladi:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{d^2(\bar{x}^2)}{dt^2} - m \left( \frac{\bar{dx}}{dt} \right)^2 = -3\pi\eta a \frac{d(\bar{x}^2)}{dt} \quad (27)$$

Bu tenglamada  $\left( \frac{\bar{dx}}{dt} \right)^2$  kattalik tezlikning X o'qiga proektsiyasi kvadratining o'rtacha qiymati. Zarralarning harakatlari tamomila xaotik bo'lgani uchun har uchala koordinatalar o'qi bo'yicha tezlik proektsiyalari kvadratlarining o'rtacha qiymatlari bir-biriga teng bo'ladi:

$$\left( \frac{\bar{dx}}{dt} \right)^2 = \left( \frac{\bar{dy}}{dt} \right)^2 = \left( \frac{\bar{dz}}{dt} \right)^2$$

SHuningdek, bu kattaliklarning yig'indisi zarralar tezligi kvadratining o'rtacha qiymati  $\bar{v}^2$  ga teng bo'lishi ham ko'rilib turibdi:

$$\left( \frac{\overline{dx}}{dt} \right)^2 + \left( \frac{\overline{dy}}{dt} \right)^2 + \left( \frac{\overline{dz}}{dt} \right)^2 = \overline{v^2}.$$

Binobarin,

$$\left( \frac{\overline{dx}}{dt} \right)^2 = \frac{1}{3} \overline{v^2},$$

shunday qilib, (27) ga kirgan bizni qiziqtirgan ifoda quyidagiga teng:

$$m \left( \frac{\overline{dx}}{dt} \right)^2 = \frac{1}{3} m \overline{v^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{m \overline{v^2}}{2}$$

$\frac{m \overline{v^2}}{2}$  kattalik Broun zarrasining o'rtacha kinetik energiyasidir. Suyuqlik yoki gaz molekulalariga to'qnash kelib, Broun zarralari ular bilan energiya almashadi va o'zi harakatlanayotgan muhit bilan issiqlik muvozanatida bo'ladi. SHuning uchun Broun zarrasi ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi suyuqlik (yoki gaz) molekulalari o'rtacha kinetik energiyasiga, ya'ni ilgaridan ma'lum bo'lgan  $\frac{3}{2} rT$  ga teng bo'lishi kerak:

$$\frac{m \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} rT,$$

binobarin,

$$m \left( \frac{\overline{dx}}{dt} \right)^2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{m \overline{v^2}}{2} = rT.$$

Broun zarrasining o'rtacha kinetik energiyasi (gaz molekulasiniki singari)  $3/2 rT$  bo'lishi prinsipial ahamiyatga ega. Haqiqatan ham biz ilgari chiqargan (8) tenglamamiz bir-biri bilan o'zaro ta'sir qilishmaydigan xaotik harakatlanuvchi zarralar uchun o'rnlidir. Bu zarralar ko'zga ko'rilmaydigan molekulalar bo'ladimi yoki milliardlab molekulalardan tuzilgan ancha yirik Broun zarralari bo'ladimi, barii bir. Molekulyar-kinetik nuqtai nazardan Broun zarrasini ulkan molekula deb qarash mumkin. SHuning uchun bunday zarraning o'rtacha kinetik energiyasi molekulaniki singari bo'lishi mos ravishda beqiyos darajada kichik.

(27) tenglamaga qaytamiz va (7.5) ni nazarga olib, uni quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{d^2(\overline{x^2})}{dt^2} - rT = -3\pi\eta a \frac{d(\overline{x^2})}{dt}$$

Bu tenglama oson integrallanadi.  $\frac{d(\overline{x^2})}{dt} = Z$  deb belgilab, quyidagini olamiz:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{dZ}{dt} - rT = -3\pi\eta a Z$$

va o'zgaruvchilarni ajratganimizdan so'ng bizning tenglama shunday ko'rinishga keladi:

$$Z - \frac{dT}{3\pi\eta a} = \frac{6\pi\eta a}{m} dt$$

Bu tenglamaning chap qismini 0 dan Z gacha, o'ng qismini esa 0 dan t gacha integrallab yozamiz:

$$\int_0^Z Z - \frac{dT}{3\pi\eta a} = - \int_0^t \frac{6\pi\eta a}{m} dt$$

yoki

$$\ln\left(Z - \frac{rT}{3\pi\eta a}\right) - \ln\left(-\frac{rT}{3\pi\eta a}\right) = -\frac{6\pi\eta a}{m} t.$$

Bundan

$$Z = \frac{rT}{3\pi\eta} \left(1 - e^{-\frac{6\pi\eta a}{m} t}\right) = \frac{d(\bar{x}^2)}{dt}$$

$e^{-\frac{6\pi\eta a}{m} t}$  kattalik oddiy tajriba sharoitlarda haddan tashqari kichik ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin. Haqiqatan ham, Broun zarralarining o'lchamlari  $10^{-4}$  sm dan oshmaydi, suyuqlikning qovushqoqligi odatda suvning qovushqoqligiga yaqin, ya'ni taxminan  $10^{-2}$  ga teng (SGS birliklar sistemasida), zarralar moddasining zichligi bir tartibida. Zarraning m massasi  $4/3 \pi a^3 \rho$  ga teng ekanligini nazarga olib  $t > 10^{-5}$  cek

bo'lganda  $\frac{6\pi\eta\phi}{b} t$  daraja ko'rsatkich shundayki,  $e^{-\frac{6\pi\eta a}{m} t}$  kattalikni nazarga olmaslik mumkin degan xulosaga kelamiz. Binobarin, Broun zarrasini kuzatishning ketma-ketligi orasidagi vaqt oralig'i  $10^{-5}$  sek dan katta bo'lsa (odatda, hamma vaqt ham shunday bo'ladi), u holda

$$\frac{d}{dt} \bar{x}^2 = \frac{rT}{3\pi\eta a}. \quad (28)$$

CHekli vaqt oraliqlari  $\Delta t$  va mos  $\Delta \bar{x}^2$  siljishlar uchun (28) tenglamani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$\frac{\Delta \bar{x}^2}{\Delta t} = \frac{rT}{3\pi\eta a}, \quad (28-a)$$

bundan

$$\Delta x^2 = \frac{rT}{3\pi\eta a} \Delta t. \quad (29)$$

Broun zarrasining  $\Delta t$  vaqt oralig'ida X o'qi yoki ixtiyoriy boshqa o'q bo'y lab siljishlar kvadratining o'rtacha qiymati shu vaqt oralig'iga proportsionaldir.

(29) formula siljishlar kvadratining o'rtacha qiymatini hisoblashga imkon beradi, bunda o'rtacha qiymat hodisada qatnashgan barcha zarralar bo'yicha olinadi. Biroq bu formula Ayni bir zarraning teng vaqt oraliqlari ichida ko'plab ketma-ket siljishlari kvadratining o'rtacha qiymati uchun ham o'rinnlidir. Eksperimental nuqtai nazardan aynan bir zarraning siljishlarini kuzatish qulay. 1909 yilda Perren shunday kuzatishlar olib bordi.

Perren zarralarning harakatini mikroskop orqali kuzatdi, bu mikroskopning oqulyari o'zaro perpendikulyar chiziqlar to'ri bilan ta'minlangan bo'lib, bu chiziqlar koordinata sistemasi sifatida xizmat qiladi. Bu to'rdan foydalanib, Perren biror zarraning ma'lum  $\Delta t$ , masalan, 30 sek vaqt oraliqlaridan keyin egallagan ketma-ket vaziyatlarini belgilab bordi. So'ngra zarraning vaziyatlari belgilangan to'rdagi nuqtalarni birlashtirib, 7-rasmda tasvirlangan manzarani hosil qildi. Bu rasmda zarraning siljishlari ham, ularning X o'qiga proektsiyasi ham ko'rsatilgan. SHuni nazarda tutish kerakki, zarraning harakati 7-rasmda ko'rsatilgandan ham murakkabroqdir, chunki rasmida juda kichik bo'limgan vaqt oralig'idagi (30 sek tartibida) vaziyatlar belgilangan. Agar bu vaqt oraliqlarini kichraytirilsa, rasmdagi har bir to'g'ri chiziq kesmasining o'zi xudi shunday 7-rasmda ko'rsatilganidek murakkab, zigzag traektoriyaga ega bo'ladi.

Perren o'z kuzatishlarida  $\Delta x$  siljishlarni o'lchadi va ular kvadratlarining o'rtacha qiymatini hisobladi. Uning o'lchashlardan olgan ma'lumotlari (29) formulaga muvofiq keldi; bu Broun harakatini molekulyar-kinetik tushuntirishning va molekulyar-kinetik nazariyaning to'g'rilingini yana bir bor tasdiqladi. Agar suyuqlikning  $\eta$  qovushoqlik qiymati, T temperaturasi va zarraning a radiusi ma'lum bo'lsa, (29) formuladan Bolsman doimiysi k ni aniqlash uchun foydalanish mumkin. Perren va boshqa tadqiqotchilarining shunday o'lchashlardan keltirib chiqargan Bolsman doimiysi qiymatlari k ning biz yuqorida keltirgan qiymati  $k=1,380 \times 10^{-16}$  erg/grad ga yaqin. SHuni aytib o'tish kerakki, Perren o'zi olgan ma'lumotlardan  $N_0 = R/k$  formula bo'yicha Avagadro sonini aniqlashda foydalandi, chunki R doimiyni holat tenglamasidan aniqlash mumkin. Perren tajribalari molekulyar-kinetik nazariyaning to'la-to'kis asoslanishida katta ahamiyatga ega bo'ldi.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Ideal gaz qonunlari.
2. Gaz molekulalarining tezliklarini aniqlash formulalarini aytинг?
3. Shtern tajribasini tushuntiring?
4. Broun harakati deganda nimani tushunasiz?

5. Ideal gaz haqida ma'lumot bering?

## **6-Mavzu. Barometrik formula. Perren tajribasi. Boltsman qonini.**

### **Reja:**

1. Barometrik formula.
2. Perren tajribasi.
3. Boltsman qonini.

### **Tayanch so'z va iboralar:**

Ideal gaz, gaz bosimi, temperatura, molekulyar - kinetik nazariya, Ideal gaz qonunlari. Barometr, Perren tajribasi, Boltsman qonini.

*Bu mavzuda talabalarga o'rtacha kvadratik tezlik, Broun harakati, barometrik formula va uning analizi, Bolsman qonuni haqida ma'lumot beriladi.*

***Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:***

- 1) Gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligini tushuntirib bering.
- 2) Broun harakati va u bilan bog'liq formulalarni sharhlang .
- 3) Barometrik formula nimani aks ettiradi?
- 4) Erkin tushish tezlanishning balandlikka bog'liqligi hisobga olinsa, barometrik formula qanday shaklda yoziladi?
- 5) Bolsman qonunidan qanday xulosa kelib chiqadi?

Adabiyotlar: [1], [2], [3].

### **Barometrik formula**

Haotik molekulyar harakatlar shunga olib keladiki, gazning zarralari idishning butun hajmi bo'ylab tekis taqsimlanadi va har bir hajm birligida o'rtacha birday sonda zarralar bo'ladi. Muvozanat holatida gazning bosimi va temperaturasi butun hajm bo'yicha birday bo'ladi. Biroq molekulalarga tashqi kuchlar ta'sir qilmagandagina shunday bo'ladi. Bunday tashqi kuchlar ta'sir qilganda molekulyar harakatlar gazlar tabiatini o'ziga xos o'zgartirib yuboradi.

Masalan, og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan gaz (havo)ni ko'raylik. Agar molekulalarning issiqlik harakati bo'lmaganda edi, ularning hammasi og'irlik kuchi ta'sirida Erga «Qulab» tusha rva butun havo Er sirti yaqinida yupQa qatlam hosil qilib to'plangan bo'lar edi. Agar og'irlik kuchi mavjud bo'lmay, molekulyar harakat mavjud bo'lganda edi, molekulalar butun olam fazosi bo'ylab tarqalib ketgan bo'lar edi. Atmosfera – Erning havo qobig'i o'zining hozirgi tarzida Ayni gvaqtida molekulalarning issiqlik harakati va Erga tortishish kuchi borligi tufayli mavjuddir. SHu bilan birga atomosferada molekulalarning balandlik bo'yicha tugal aniq taqsimlanishi mavjud bo'ladi. Molekulalarning shunday taqsimlanishiga mos ravishda gaz bosimining balandlikka bog'liq holda o'zgarish qonuni qaror topadi, bu qonunni topish qiyin emas.

Havoning vertikal ustunini ko'raylik (8-rasm). Yerning  $x=0$  bo'lgan sirtida bosim  $r_0$  ga,  $x$  balandlikda esa  $r$  ga teng bo'lsin. Balandlik  $dx$  ga ortganida bosim  $dp$  ga o'zgaradi. Ma'lumki, biror balandlikdagi havoning bosimi yuzi bir birlikka teng bo'lgan shunday balandlikdagi vertikal havo ustuni og'irligiga teng. SHuning uchun  $dp$  yuzi bir birlikka teng bo'lgan havo ustunining  $x$  va  $xqdx$  balandliklardagi

og'irliliklari farqiga teng, ya'ni asos yuzi bir birlikka teng bo'lgan dx balandlikdagi havo ustuni og'irligiga teng:

$$dp = -\rho g dx,$$

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

$$\rho = mn.$$

Kinetik nazariyadan ma'lumki [(9) formula], molekulalar soni  $n = \rho / rT$ . Binobarin,  $\rho = mp/rT$  va

$$dp = -\frac{mg}{rT} pdx.$$

Bu tenglamani (o'zgaruvchilarni ajratish uchun) quyidagi ko'rinishda qayta yozish mumkin:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{mg}{rT} dx. \quad (30)$$

Agar temperatura hamma balandlikda birday deb hisoblasak (umuman aytganda bu noto'g'ri), bu holda bu tenglamani integrallab shunday ifoda olamiz:

$$\ln \rho = -\frac{mg}{rT} x + \ln C, \quad (30-a)$$

bu yerda  $S$  – integrallash o'zgarmasi. Bundan

$$p = Ce^{-\frac{mg}{rT} x} \quad (30-b)$$

$S$  o'zgarmas  $x=0$  bo'lganda  $r=r_0$  ekanligi shartidan aniqlanadi. (30-b) tenglamaga  $x$  va  $r$  ning qiymatlarini qo'yib yozsak:

$$S = r_0.$$

Binobarin, bizni qiziqtirayotgan havo bosimining Er yuzidan balandlikka bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$p = h_{oe}^{-\frac{mg}{rT} x} \quad (31)$$

yoki  $m = \mu / N_0$  ekanligini nazarga olsak (bu yyerda  $\mu$  - molekulyar massa, ya'ni mol massasi,  $N_0$  – Avogadro soni), quyidagini hosil qilamiz:

$$p = h_{oe}^{-\frac{mg}{RT}x} \quad (31-a)$$

Bosimning balandlik ortishi bilan kamayib borishini ko'rsatuvchi (31) tenglama *barometrik formula* deb ataladi. Bu tenglamadan gazning bosimi balandlik ortishi bilan eksponentsiyal qonunga muvofiq kamayib borishi ko'rinish turibdi. Bu qonundan Er sirtidan balandlikni aniqlash uchun foydalaniladi, buning uchun shu balandlikdagi bosim va dengiz sathi balandligidagi bosim o'lchanadi (albatta, lengiz sathidagi balandligidagi bosimni bir marta o'lhash etarli).

Tog' cho'qilari, samolyotning uchish balandligini o'lhashga mo'ljallangan asboblar shkalalari bevosita metrlarda darajalangan maxsus barometrdan iborat bo'ladi. Bu maqsadlar uchun, biroq (31) tenglamada temperaturaga tuzatma kiritish kerak, chunki barometrik formulani chiqarishda biz temperaturani barcha balandliklarda o'zgarmas bo'ladi deb faraz qildik, holbuki temperatura balandlik ortgan sari pasayib boradi.

(31) barometrik formuladan foydalanib Bolsman doimiysi  $r$  ni aniqlash mumkin, biroq temperatura tuzatmasi tufayli aniqlik uncha katta bo'lmaydi.

Avval ko'rganimizdek, gazning bosimi hajm birligidagi molekulalar soniga proportsional ( $r=nrT$ ) bo'lgani uchun (31) formula, shuningdek balandlik ortishi bilan molekula zichligining kamayish qonunini ham ifodalaydi:

$$n = n_{oe}^{-\frac{mg}{rT}x}, \quad (32)$$

bu yyerda  $n$  va  $n_0$  – oralaridagi balandlik farqi  $x$  ga teng bo'lgan nuqtalardagi hajm birligidagi molekulalar soni. Bu formula, huddi (31-a) formula singari, Erning atmosferasi cheksizlikkacha yoyilgan ekanini ko'rsatadi.

Barometrik formula (31) va (32) ni chiqarishda biz og'irlik kuchi tezlanishi  $g$  ni o'zgarmas, ya'ni balandlikka bog'liq emas deb faraz qildik. SHunga asoslanib (30) tenglamani integrallayotganda  $g$  ni integral belgisidan tashqariga chiqardik. Bunday soddallashtirishni  $x$  ning nisbatan kichik qiymatlari (o'nlab kilometrlar chamasida) uchungina qabul qilish mumkin. Katta balandliklarda og'irlik kuchi tezlanishi Er sirtidan uzoqlashgan sari kamayishini nazarga olish kerak. Haqiqatan ham, butun olam tortishish qonunidan yer markazidan  $r$  masofada og'irlik kuchining tezlanishi

$$g(r) = \gamma \frac{M}{r^2} = \gamma \frac{M}{(r_0 + x)^2}$$

ga teng bo'ladi, bu yerda  $\gamma$  - gravitatsiya doimiysi (SI sistemasida uning qiymati  $\gamma=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , SGS sistemasida esa  $\gamma=6,67 \cdot 10^{-8} \text{ dina} \cdot \text{sm}^2/\text{g}^2$ );  $M$  – yerning massasi va  $r_0$  – yerning radiusi. SHuning uchun (30) tenglama

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{Mm}{rT} \cdot \frac{dx}{(r_0 + x)^2}$$

ko'inishda yozilishi kerak. Integrallaganimizdan keyin quyidagini olamiz:

$$Inp = \gamma \frac{Mm}{rT} \cdot \frac{1}{r_0 + x} + InC$$

yoki

$$p = C \exp\left(\gamma \frac{Mm}{rT} \cdot \frac{1}{r_0 + x}\right) = C \exp\left(\gamma \frac{M}{r_0^2} \cdot \frac{m}{rT} \cdot \frac{r_0^2}{r_0 + x}\right) = C \exp\left(\frac{mg}{rT} \cdot \frac{r_0^2}{r_0 + x}\right) \quad (33)$$

ko'inishga keladi.

Integrallash o'zgarmasi  $C$  ni  $x=0$  bo'lganda bosim  $r=r_0$  bo'ladi degan shartdan topiladi.  $x$  va  $r$  ning qiymatlarini (33) formulaga qo'yib, quyidagi ifodani topamiz:

$$C = p_{oe}^{-\frac{mgr_0}{rT}},$$

nihoyat, bosimning balandlikka bog'liqligi quyidagi ko'inishda bo'ladi:

$$p = p_0 \exp\left[-\frac{mgr_0}{rT} \left(1 - \frac{r_0}{r_0 + x}\right)\right] \quad (34)$$

Bu formuladan yuzaki qaraganda paradoksal natija kelib chiqadi, hatto Yerdan cheksiz uzoqlashganda, ya'ni  $x \rightarrow \infty$  bo'lganda ham bosim nolga teng emas:

$$p_\infty = p_{oe}^{-\frac{mgr_0}{rT}}.$$

Bu degan so'z, yerning (shuningdek boshqa planetalarning ham) atmosferasi cheksizlikkacha yoyilgan va gazning zichligi hech qayerda ham nolga teng bo'lmasligi kerak. Fizikaviy jihatdan bunday bo'lshi mumkin emas, chunki molekulalar soni chekli, Koinot esa cheksiz. SHuning uchun yerning atmosferasi muvozanat holatida emas, degan xulosa qilishga to'g'ri keladi. Muvozanat holatida bo'lmasligi shundaki, atmosfera gazi uzlusiz olam fazosiga yoyilib ketadi. Biroq bu Er atmosferasining yo'qolib ketishiga olib kelmagan (va milliard yillar davomida olib kelmaydi), chunki havo zarralarining faqat juda kichik miqdorigina yerning atmosfera qobig'ini tashlab ketadi. Biroq bunday holat, masalan, Oyning atmosferasini yo'qotishga olib kelishi (qachonlardir oy atmosferaga ega bo'lgan bo'lsa) mumkin edi (bu to'g'rida keyinroq batatsil to'xtalib o'tamiz).

**Perren tajribasi.** (32) formuladan Perren barometrik formulani tajribada tekshirish va Bolsman doimiysini aniqlash (yoki huddi shunday Avogadro sonini aniqlash) uchun foydalandi. Bunda perren o'zining Broun harakatiga doir tajribalari ko'rsatganidek, uncha katta bo'lмаган muallaq zarralarni juda katta o'lchamli o'zaro ta'sirlashmaydigan molekulalar deb qarash mumkin ekanligi faktidan

foydalandi. SHuning uchun Broun zarrasiga o'xshash zarralar suyuqlikda muallaq bo'lib og'irlik kuchi ta'siriga duch kelsa, balandlik o'zgarishi bilan gaz molekulalari singari, ya'ni (32) qonunga muvofiq taqsimlanadi deyish mumkin.

Perren bir-biriga aralashmaydigan ikki suyuqlikdan iborat emulsiya tayyorladi. Bu emulsiyada bir suyuqlik ikkinchisida muallaq bo'lган mayda tomchilar hosil qiladi, bu tomchi zarralarining o'lchamlari deyarli bir xil va taxminan sharsimon shaklda. Vertikal o'rnatilgan va aniqlik darajasi juda kichik bo'lган mikroskop yordamida muallaq zarralarning balandlik bo'yicha taqsimlanishi kuzatildi (9-rasm). Buning uchun mikroskop emulsiyaning turli balandliklarda (chuqurlikdagi) qatlamlariga fokuslandi. Mikroskopning ko'rish maydonida 0,001 mm dan qalin bo'lмаган qatlamdagи zarralarga ko'rindi va bu qatlamdan yuqorida yoki pastda bo'lган zarralar mutlaqo ko'rinasdi. Ko'rish maydonidagi zarralar soni uncha ko'p bo'lmay, ularni sanash mumkin edi. Bu son, ravshanki hajm birligidagi zarralar soni n ga proportsional bo'ladi. O'lchashlar ko'plab marta o'tkazildi va ularning o'rtachasi aniqlandi. Ba'zi tajriba seriyalarida sanalgan zarralarning umumiy soni ko'p minglarcha bo'ldi. Bu o'lchashlar haqiqatan ham zarralar kontsentratsiyasi (32) formula bilan ifodalangan eksponentsal qonunga muvofiq o'zgarishini ko'rsatdi. Bunda zarraning Arximed qonuniga muvofiq og'irlik yo'qotishi nazarga olingan.

Agar zarraning massasi m bo'lsa, u holda uning og'irligi Arximed ko'tarish kuchini nazarga olganda quyidagiga teng bo'ladi:

$$mg\left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right),$$

bu yerda  $\rho_0$  - zarra moddasining zichligi,  $\rho$  esa bu zarra muallaq turgan suyuqlikning zichligi. SHuning uchun (32) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$n = n_0 \exp\left[-\frac{mg\left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right)}{rT} x\right] \quad (35)$$

(35) formuladan shu narsa kelib chiqadiki, agar mikroskopning ko'tarish maydonida emulsiyaning  $x_1$  va  $x_2$  qatlamidagi zarralar soni  $n_1$  va  $n_2$  ni sanalsa, u holda quyidagi

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\left[-\frac{mg\left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right)}{rT} \cdot (x_1 - x_2)\right] \quad (36)$$

nisbatan Bolsman doimiysi r ni aniqlash mumkin bo'ladi, buning uchun zaryadlarning massasi m, ularning zichligi  $\rho_0$ , suyuqlik zichligi  $\rho$  va T temperaturani o'lhash kerak. Suyuqlikning zichligi va temperaturasi umumiy ma'lum bo'lган metodlar bilan o'lchanadi. Emulsiya zarralarining massasi va

zichligini o'lchashgina, ularning o'lchamlari juda kichik (mikroskopik) bo'lgani uchun qiyinchilik tug'diradi.

Zarralar moddasining zichligini Perren emulsiyaning massasini va hajmini o'lchash yo'li bilan aniqlandi. Buning uchun dastlab ma'lum idish (piknometr)ni to'ldirgan suvning  $M_0$  massasi tortish yo'li bilan aniqlandi. Bundan piknometrning hajmi  $M_0 / \rho_1$  aniqlandi (bu yyerda  $\rho_1$  - suvning zichligi). So'ngra huddi shu piknometrni to'ldirgan (suvdagi) emulsiyaning  $M_1$  massasi aniqlandi. SHundan keyin emulsiyali piknometr pechga joylashtirildi va suyuqlik bug'lantirib yuborildi; piknometr qaytadan tortildi va buning natijasida emulsiyadagi zarralarning  $M_2$  massasi aniqlandi. Bu o'lchashlardan emulsiyadagi suvning hajmi

$$V_{\text{cye}} = (M_1 - M_2) / \rho_1,$$

so'ngra emulsiya zarralarining hajmi aniqlanadi:

$$V_{\text{zarr}} = \frac{M_0}{\rho_1} - \frac{M_1 - M_2}{\rho_1},$$

demak, zarralar moddasining zichligi  $\rho_0$  topiladi:

$$\rho_0 = \frac{M_0}{V_{\text{zarr}}} = \frac{M_2 \rho_1}{M_0 - M_1 + M_2}.$$

Emulsiya zarralarining radiusini (biz ularni sof shar shaklida deb olgan Edik) Perren kapillyar nayni to'ldirib turgan emulsiyada zarralarning tushish tezligi v ni o'lchash yo'li bilan aniqladi. qovushoqligi  $\eta$  bo'lgan suyuqlikda v tezlik bilan tushayotgan a radiusli sharchaga yuqoriga vertikal yo'nalgan

$$F = 6\pi\eta av$$

ishqalanish kuchi ta'sir qiladi. Bundan tashqari, tushayotgan sharchaga yuqoriga yo'nalgan Arximed kuchi

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g,$$

bu yerda  $\rho$  suyuqlikning zichligi va og'irlilik kuchi

$$mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0 g$$

(bu yerda  $\rho_0$  - sharcha moddasining zichligi) ta'sir qiladi. Arximed kuchi va og'irlilik kuchining natijaviysi

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho) g$$

sharchani pastga qarab g tezlanish bilan xarakatlantiradi ( $\rho_0 > \rho$ ). Biroq sharchaning tezligi orta borgan sari ishqalanish kuchi / ortadi va sharchani tormozlaydi. Buning natijasida sharcha harakatining shunday o'zgarmas tezligi yuzaga keladiki, bunda

$$6\pi\eta av = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho) g \quad (37)$$

tenglik qaror topadi. Perren xudi shu tezlikni o'lchadi. (37) formuladan zarranining radius iva uning tegishli massasi aniqlanadi:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho_0 - \rho)}}, m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0.$$

SHunday qilib, (36) formulaga kiruvchi barcha kattaliklarni o'lchash mumkin. (36) ni logarifmlagandan so'ng Bolsman doimiysi r ni hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$r = \frac{m \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right) \cdot g (x_2 - x_1)}{T \ln(n_1 / n_2)}$$

Perren tajribalaridan olingan r ning qiymati hozirgi gvaqtida qabul qilingan qiymatidan birmuncha kichik. Keyinroq boshqa tadqiqotchilar shu metodning o'zi bilan r ning aniqroq qiymatini oldilar.

### Bolsman qonuni

Yuqorida olingan barometrik formula gazning og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan holi uchun chiqarilgan. (32) formula

$$n = n_{0e}^{-\frac{mg}{rT} x},$$

dagi  $mgx$  kattalik molekulaning  $x$  balandlikdagi potentsial energiyasini bildiradi. SHuning uchun (32) formula bizga energiyasi  $U=mgx$  bo'lgan zarralar soni  $n$  ni beradi deyish mumkin, bunda energiyasi nolga teng bo'lgan zarralar soni  $n_0$  ga teng bo'lishi kerak (balandlik  $x$  noldan hisoblanadi). Agar og'irlik kuchi o'rniga biror boshqa kuch ta'sir qilsa va energiyaning ifodasi boshqacha ko'rinishda bo'lsa, gazning tabiatiga juda o'zgarib ketadi deb hisoblashga hech qanday asos yo'q. Agar gaz qandaydir kuch maydonida bo'lib, shu tufayli uning zarralari biror potentsial energiyaga ega bo'lsa, u holda berilgan  $U$  energiyali zarralar soni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$n = n_{0e}^{-\frac{U}{rT}} \quad (38)$$

(38) formula *Bolsman formulasi* deb ataladi. Bu formula issiqlik muvozanati sharoitida  $U$  energiyaga ega bo'lgan zarralar ulushini aniqlashga imkon beradi:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{U}{rT}} \quad (39)$$

(39) formula berilgan  $U$  energiyali zarralar ulushi  $\frac{n}{n_0}$  ning shu energiya kattaligidan tashqari, faqat temperaturaga bog'liq bo'lishini ko'rsatadi. Bu narsa temperaturaning o'zini ham birmuncha boshqacha, ya'ni zarralarning energiya bo'yicha qanday taqsimlanishiga bog'liq bo'lgan kattalik sifatida talqin qilishga imkon beradi.

Berilgan temperaturada biror  $U$  energiyaga ega bo'lgan molekulalar ulushi  $U$  ning qiymatiga bog'liq bo'ladi va  $U$  ortgan sari bu ulush tez kamayadi. Bu degan so'z, juda katta energiyali molekulalar ulushi hamma vaqt ham juda kam bo'ladi. SHu bilan birga temperatura qancha past bo'lsa,  $U$  ning ortishi bilan  $\frac{n}{n_0}$  shuncha tez kamayib boradi.

### Mustahkamlash uchun savollar.

1. Perren tajribasini ayting?

2. Boltzman qonuni izohlang?
3. Boltzman formulasini qanday va izohlansin?
4. Stoks kuchini tushuntiring?
5. Ichki ishqalanish koeffitsiyentini fizik mohiyatini izohlang?

## **7-mavzu: Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar.**

**Reja:**

1. **Ehtimollik.**
2. **Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar.**

**Tayanch so'z va iboralar:**

Molekulyar - kinetik nazariya, Ideal gaz qonunlari. Barometr, Perren tajribasi, Boltzman qonini, Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari

### **1.Ehtimolliklar nazariyasidan elementar ma'lumotlar.**

Boltzman qonunini ham, barometrik formula kabi birmuncha boshqa nuqtai nazardan, ehtimollik tushunchasidan foydalanib talqin qilish ancha qulay.

**Ehtimollik** terminini biz, «ishonchlilik», «aniqlik» terminlaridan farqli ravishda, faqat tasodify voqealar haqida gap ketgan vaqtda, ya'ni biror sababga ko'ra amalga oshish sharoitlari noma'lum bo'lgan va shuning uchun ishonch bilan avvaldan aytish mumkin bo'lмаган voqealar haqida gap ketganida foydalanamiz.

Masalan, tramvayda bilet olishimizdan avval biz uning toq sonli (nomerli) yoki juft sonli bo'lishini aytta olmaymiz. Shuning uchun juft sonli bilet sotib olish voqeasini tasodify voqea deyish mumkin. Masalan, biz 10 ta bilet sotib olsak (birdaniga bir sotib olishda emas, albatta), ular orasida uchta, oltita, sakkiztasi juft sonli bo'lishi mumkin. Biroq ularning ichida bitta ham juft sonli bilet bo'lmasligi, yoki aksincha, ularning o'ntalasi ham juft sonli bo'lishi mumkin.

Biroq birinchi qarashda tamomila ixtiyoriy bo'lib ko'ringan voqeada ma'lum qonuniyat bor. Bu qonuniyat shundan iboratki, agar tajriba (bilet sotib olish) yetarlicha ko'p marta takrorlansa, taxminan yarmi holida juft sonli bilet sotib olinishi mumkin. Bunday «tajriba»lar soni qancha ko'p bo'lsa, juft sonli biletlar ulushi yarimga shuncha yaqin bo'ladi. Bunday holda juft sonli bilet sotib olish ehtimolligi  $\%$  ga teng deb gapiriladi.

Xuddi shunday, tangani ko'plab marta tashlab, uning taxminan yarmiga yaqin hollarda gerb tomoni bilan tushishiga ishonch hosil qilish mumkin. Tanga qancha ko'p tashlansa, shunday bo'lishi ehtimoli shuncha ko'p bo'ladi.

Bu va shunga o'xhash tajribalar asosida ehtimollikning shunday ta'rifini berish mumkin: **voqeaning ehtimolligi deb, voqea amalga oshadigan tajribalar**

**sonining tajribalarning umumiy soniga nisbatining tajribalar soni cheksiz ortib borgandagi limitiga aytiladi.**

Agar  $N$  ta tajribadan (yoki kuzatishdan)  $N$ 'tasida bizni qiziqtirgan hodisa amalga oshsa, u holda bu hodisaning  $W$  ehtimolligi shunday formula bilan ifodalanadi:

$$W = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N'}{N}.$$

Biz aytib o'tgan bilet sotib olish misolida juft sonli (nomerli) bilet olish ehtimolligi  $\frac{1}{2}$  ga teng. Toq sonli bilet olish ehtimolligi ham shunday. Bu ikki ehtimollikning yig'indisi birga teng. Bu yig'indi bizga sotib olingan biletning toq yoki juft sonli bo'lishi «voqeasining ehtimolligini bildiradi. Biroq bunday voqeaning bo'lishi muqarrar, demak, birga teng bo'lган ehtimollik bu ishonchlilikdir. Aksincha, biror voqeaning bo'lishi mumkin bo'lmasa (masalan, mutlaqo biletning nomeri bo'lmasa), bu voqeaning ehtimolligi nolga teng bo'ladi.

Biletlar (shuningdek, tanga tashlash misolida ham) misolida «tajriba»ning (bilet sotib olishning) natijasi ikki natijaga olib kelishi mumkin: biletning soni toq bo'lishi yoki juft bo'lishi mumkin va har ikkala holning bo'lishi teng ehtimollidir. Biroq hamma vaqt ham shunday bo'lavermaydi. Masalan, nishonga o'q otishda ikki natija — mo'ljalga tegishi yoki bekor ketishi mumkin, biroq bu ikki natijaning ehtimolligi  $\frac{1}{2}$  ga teng deb bo'lmaydi, chunki o'qning nishonga tegish va bekorga ketishi otishning teng ehtimolli natijalari emas. Agar juda ko'p o'q otilgan bo'lsa, nishonga tegishning umumiy otishlar soniga nisbati yarimga teng bo'lishi amri mahol: yaxshi miltiq bilan ta'minlangan mengan otuvchida bu nisbat birga yaqin, mengan bo'limgan otuvchida esa nolga yaqin bo'lishi mumkin. Garchi otishning har bir natijaga olib kelish ehtimolligi  $\frac{1}{2}$  ga teng bo'lmasa-da, ularning yig'indisi (ayni bir otuvchi uchun) bu holda ham birga teng: otishning biror natijaga olib kelishi — nishonga tegishi yoki bekor ketishi haqida to'la aniqlik bilan aytish mumkin!

## **2.Ehtimolliklarni qo'shish teoremasi.**

Ehtimollik nazariyasining muhim qoidalaridan birini ta'riflashda bundan tashqari ehtimollik kattaligining yana bir ta'rifi berishga imkon beradigan shunday bir misolni ko'raylik. Bu ta'rif kelgusida bizga kerak bo'ladi.

Yashikda o'lchamlari va og'irligi jihatidan tamomila bir xil bo'lgan 20 ta silliq shar solingan va ulardan 5 tasi oq rangga, qolganlari esa qora rangga bo'yalgan bo'lsin. Agar endi yashikdan bir sharni olsak, sharlar rangidan tashqari hamma jihatlari bilan birday bo'lgani uchun undan bir sharni olish ehtimolligi ixtiyoriy boshqa birini olish ehtimolligiga teng bo'ladi. Qandaydir belgi qo'yish uchun olmoqchi bo'lgan har bir shar uchun yashikdan olinish ehtimolligi  $\frac{1}{20}$  ga teng bo'lishi ravshan.

Endi yashikdan aynan oq shar olinish ehtimolligi qanday bo'lishini ko'raylik. Har bir sharning (oqmi yoki qorami) yashikdan olinish ehtimolligi  $\frac{1}{20}$  ga teng bo'lgani,

oq sharlarning hammasi esa beshta (bizga ulardan qaysi biri olinishi bari bir) bo'lgani uchun izlanayotgan ehtimollik barcha oq sharlar ehtimolliklarining yig'indisiga teng:

$$W = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{5}{20}.$$

Bu natija ehtimollik nazariyasining eng muhim qoidalaridan biri — ehtimolliklarni qo'shish teoremasini ifodalaydi. Bu teoremaga ko'ra, **agar  $W_1, W_2, W_3$  va h. k.—bir-birini istisno qiluvchi bir necha voqealarning ehtimolligi bo'lsa, bu voqealardan birortasining amalga oshish ehtimolligi bu barcha voqealarning ehtimolliklari yig'indisiga teng. bo'ladi.**

Demak, bir necha voqealar ehtimolliklarining yig'indisi bizga bir voqeaning, yoki boshqa voqeaning, yoki uchinchi voqeaning amalga oshishish ehtimolligini berar ekan. Bunda bu voqealar yoki ulardan loaqal ikkitasi ayni bir vaqtida amalga osha olmaydi deb faraz-qilinadi. Masalan, bizning misolimizda  $\frac{5}{20}$  — bu yashikdagi oq sharlardan bittasining olinish ehtimolligi, sharlarni olish bir marta bajariladigan bo'lgani uchun qandaydir bir oq shar olingan ekan, boshqa hech qandayi olinishi mumkin emas.

Bu misol ehtimollikning oldingisidan farq qiladigan yangi ta'rifini berishga imkon beradi. Biz oq sharni olish ehtimolligi  $\frac{5}{20}$  bo'lishini aniqladik. Biroq 20 soni sharni olish amali bajarilishining mumkin bo'lgan barcha soni, 5 soni esa — mumkin bo'lgan barcha voqealardan (hammasi 20) ayni bizni qiziqtirgan voqea — oq sharning chiqishiga molik bo'lgan son. Bu esa ayni shu voqeaning ehtimolligini **barcha hollar teng imkonli bo'lganda voqeaning amalga oshishi mumkin bo'lgan barcha hollar sonining mumkin bo'lgan barcha hollar umumiy soniga nisbati sifatida ta'riflashga imkon beradi.**

Ehtimollikning bunday ta'rifini **Laplas** bergen. Bu ta'rif avvalgi ta'rifga zid emas. Ehtimollikning bu ta'rifi uchun barcha hollarning teng imkonli bo'lishi, teng ehtimollikda bo'lishi ahamiyatga egadir. Bizning sharlarga oid misolimizda xuddi shundaydir.

Ehtimollik nazariyasining fizikada qo'llanishlarida ham odatda teng ehtimollikli voqealar bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi.

Endi **Bolsman qonuni formulasi** qaytaylik. Ehtimollik to'g'risida yuqorida aytilganlardan bu formuladagi  $p/p_0$  kattalik ehtimollik ma'nosiga ega ekan kelib chiqadi. Axir  $n_0$  molekulaning istalgan biri  $U$  energiyaga ega bo'lishi mumkin-ku!

Demak,  $n_0$  mumkin bo'lgan hollarning umumiy soni. Haqiqatda esa  $p$  molekula  $U$  energiyaga ega bo'ladi. Binobarin,  $p$  — biz avval qulaylik tug'diruvchi hollar soni deb atagan son. Shuning uchun  $U$  energiyaga ega bo'lgan molekulalar ulushi (to'la asos bilan) deb atagan  $p/p_0$  nisbat ayni vaqtida  $n_0$  molekulalardan istalganining bunday energiyaga ega bo'lish ehtimolligidir.

### **Ehtimolliklarni ko'paytirish teoremasi.**

Endi ehtimolliknazariyasining bir muhim qoidasini — ehtimolliklarni ko'paytirishni bayon qilish qoldi. Bu qoida ikki yoki undan ko'p birgalikda ro'y berishi mumkin bo'lga bir-biri bilan bog'liq bo'lman voqealardan iborat ***murakkab*** voqeanning ehtimolligini aniqlashga tegishlidir. Ikki yoki undan ortiq voqealardan birortasining ehtimolligi boshqasining bo'lish-bo'lmasligiga bog'liq bo'lman voqealar mustaqil (erkli) voqealar deb ataladi.

Dastlabki biletlar yoki merganga oid misollarimizga qaytib, masalan shunday masala qo'yishimiz mumkin: merganning otish joyiga ketaturib tramvayda juft sonli bilet olishi va undan so'ng birinchi otgan o'qining muvaffaqiyatli nishonga tegish ehtimolligi qanday bo'ladi? Bu ikki hodisaning mustaqil (erkli) hodisalar ekanligi ravshan. Aytaylik, bizning mengan uchun nishonga urish  $W_1$  ehtimolligi 0,8 ga teng, ya'ni o'q otish joyiga o'rtacha 10 marta borganida sakkizta holida nishonga birinchi o'q bilan uradi. Biroq bu hollarning faqat yarmidagina ayni vaqtida juft sonli bilet sotib oladi, chunki juft sonli bilet sotib olish  $W_2$  ehtimolligi  $\frac{1}{2}$  ga teng. Binobarin, juft sonli bilet olish bilan nishonga muvaffaqiyatli urish voqealaridan iborat murakkab hodisaning izlanayotgan  $W_{12}$  ehtimolligi — bu voqealardan har birining ehtimolliklari ko'paytmasiga teng:

$$W_{12} = W_1 \cdot W_2 = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4.$$

*Ikki yoki undan ortiq mustaqil (erkli) hodisalarning birgalikda ro'y berishi ehtimolligi ulardan har birining alohida ehtimolliklarining ko'paytmasiga teng.*

### **Ehtimollik va kattaliklarning o'rtacha qiymati.**

O'tgan paragraflarda molekulalarning harakatini xarakterlovchi turli fizikaviy kattaliklari o'rtacha qiymatlari — o'rtacha tezlik, o'rtacha energiya va shunga o'xshashlardan bir necha marta foydalandik. Molekulyar sistemalarni bunday tavsif qilish yo'lidan foydalanganimizning sababi shuki, bu sistemalarni tashkil qilgan zarralar soni juda ko'p bo'lgani uchun bu zarralarning har biriga tegishli bo'lga kattaliklarni o'rganishning imkoniyati ham, zarurati ham yo'q edi. Kattaliklarning o'rtacha qiymatlaridan foydalanish bizning tamomila aniq qonunlar, masalan, ideal gazning holat tenglamasini chiqarish uchun ham xalaqit bermaganini ko'rdik.

Fizikaviy kattaliklarning o'rtacha qiymatlari ham ehtimollik tushunchasi bilan chambarchas bog'langanligini ko'rish qiyin emas.

Har qanday molekulyar sistemaning zarralari uzluksiz tartibsiz harakatlanishi tufayli yetarlicha katta vaqt oralig'ida bunday sistema ko'p sonli molekulyar o'zaro ta'sirlar natijasida bir-birini murakkab tarzda almashtiruvchi hisobsiz holatlarni egallaydi. Uzoq vaqt ichida har bir bunday holatda bizning sistema bir marta emas, ko'plab marta bo'ladi.

Aytaylik, sistemaga yoki uning ixtiyoriy qismiga tegishli biror  $a$  kattalikni aniqlash kerak bo'lsin. Buning uchun sistema ustida uning turli holatlarida ko'plab kuzatishlar (albatta, fikran) olib borishimiz kerak. Bunday kuzatishlar sonini  $N$  orqali belgilaymiz. Bunda  $N$  kuzatishlardan  $N_1$  tasida bizni qiziqtirgan kattalikning  $a_1$  qiymatni olganini topamiz;  $N_2$  kuzatishlar esa  $a$  kattalikning  $a_2$  qiymatini beradi va hokazo.  $a$  kattalikning o'rtacha qiymati ta'rifga ko'ra quyidagiga teng bo'ladi:

$$\bar{a} = \frac{N_1 a_1 + N_2 a_2 + N_3 a_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots} = \frac{\sum N_i a_i}{\sum N_i}.$$

Bunda  $\sum N_i = N_1 + N_2 + N_3 + \dots$  yig'indi kuzatishlarning umumiy soni  $N$  ga teng bo'lgani uchun,  $a$  ning o'rtacha qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$\bar{a} = \frac{N_1}{N} a_1 + \frac{N_2}{N} a_2 + \dots = \sum \frac{N_i}{N} a_i.$$

Biroq  $\frac{N_1}{N}$ , ya'ni  $a$  kattalikning  $a_1$  qiymat qabul qiladigan kuzatishlar sonining umumiy kuzatishlar soni  $N$  ga nisbati bu qiymatning ehtimolligidir. Xuddi shuningdek,  $\frac{N_2}{N}$  ham  $a$  qiymatning  $a_2$  ga teng bo'lish ehtimolligidir va hokazo. Binobarin, *a kattalikning o'rtacha qiymati uning alohida qiymatlarining tegishli ehtimoliklarga ko'paytmasining yig'indisiga teng*:

$$\bar{a} = W_1 a_1 + W_2 a_2 + W_3 a_3 + \dots = \sum W_i a_i.$$

Molekulyar fizika qonunlarining hamma vaqt ehtimollik xarakterida bo'lishini biz yuqorida ta'kidlab o'tgan edik, biroq bundan ularning aniqligi yo'qolmaydi. Buning sababi shuki, o'zgarmas tashqi sharoitlarda bo'ladigan har qanday sistema uchun uni tavsiflovchi fizikaviy kattaliklar ham amalda o'zgarmaydi va ularning o'rtacha qiymatlariga teng bo'ladi. Bunday hollarda sistema muvozanat holatida bo'ladi deb gapiriladi. Bu masala quyida batafsilroq o'r ganiladi.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Ehtimollik deganda nimani tushunasiz?
2. Ehtimolliklarni qo'shish qoidasini tushuntiring?
3. Ehtimollik va kattaliklarning o'rtacha qiymatini tushuntiring?
4. Ehtimolliklarni ko'paytirish qoidasini tushuntiring?
5. Ehtimollik uchun Laplas bergan qoidani ta'rifini ayting.

## **8-Mavzu:Taqsimot funktsiyasi. Gaz molekulalarining komponentalari bo'yicha taqsimoti.**

**Reja:**

- 1. Taqsimot funktsiyasi.**
- 2. Gaz molekulalarining komponentalari bo'yicha taqsimoti.**

**Tayanch so'z va iboralar:**

Taqsimot funktsiyasi, Shtern tajribasi, ehtimollik zichligi, xaotik harakat,

### **1. Taqsimot funktsiyasi. Taqsimot haqida tushuncha.**

Ideal gazlarning kinetik nazariyasi asosiy tenglamalariga molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi kirishini bilamiz, o'rtacha kinetik energiya esa o'z navbatida molekulalarning o'rtacha kvadratik tezliklari bilan aniqlanadi. O'rtacha kvadratik tezlikning ma'nosi shuki, bu tezlik gazning bosimi aslida qanday bo'lsa, shunday qiymat olishi uchun uning barcha molekulalari (ular tezliklarining kattaliklari birday, yo'naliishlari esa teng ehtimolli bo'lganda) egallashi kerak bo'lgan tezlikdir. Biroq aslida molekulalarning tezliklari birday emas va buni biz hatto asosiy tenglamani chiqarishda e'tiborga olgan edik. Tajriba ham buni tasdiqlaydi.

Masalan, Shtern tajribalari yordamida molekulalarning tezligini o'lchashda siljigan poloska aniq emas, balki turli tezlikdagi molekulalar nishonning turli joylariga tushgani uchun yoyilgan bo'lib ko'ringan edi. Agar molekulalarning tezliklari birday bo'lganda edi, taqsimlanish tamomila boshqacha bo'lar edi. Haqiqatan ham, Yer sirtiga yaqin barcha molekulalarning tezliklari birday bo'lib, uning vertikal tashkil etuvchisi  $i$  ga teng deb faraz qilaylik. Bu molekulalar  $\frac{mu^2}{2} = mgx$  shart bilan aniqlanadigan  $x$  balandlikkacha ko'tarilgan, ya'ni  $x = u^2 / 2g$

balandlikkacha ko'tarilgan va so'ngra Yerga dastlabki kinetik energiyalari bilan qaytgan bo'lar edi, ya'ni o'zini yuqoriga otilgan ixtiyoriy jismdek tutgan bo'lar edi. Bunday sharoitlarda atmosferaning  $x$  balandlikda keskin chegarasi bo'lar va bu chegaradan tashqarida atmosfera bo'lmas edi. Tajriba esa atmosferaning keskin chegarasi yo'q ekanini va u balandlik ortishi bilan barometrik formulaga muvofiq kamayishini ko'rsatadi. Barcha molekulalarning tezliklari tengligi to'g'risidagi faraz shunday qilib tajribaga ziddir.

Molekulalarning tartibsiz harakatlari va ularning o'zaro to'qnashuvlari tufayli gaz molekulalari o'zlarining tezliklari bo'yicha qandaydir tarzda taqsimlanadi, ularning orasida juda tez molekulalar ham, juda sekin molekulalar ham bo'ladi. Molekulyar harakatlarning tamomila xaotikligiga qaramay, to'qnashuvlarning va ularning molekulyar tezligiga ko'rsatadigan o'zgarishlarining tasodifiy xaraktyerde ekaniga qaramay, molekulalarning tezlik bo'yicha taqsimoti tasodifiy va ixtiyoriy bo'lmasdan, tamomila aniq bo'lishini nazariya va tajriba ko'rsatadi. Uning xarakteriga molekulalararo to'qnashuvlar ham, hatto tashqi maydonlar ham ta'sir ko'rsata olmaydi. Bu taqsimot bir qiymatli va mumkin bo'lgan yagona xaraktyerdadir. Bu molekulyar harakatlarning xaotikligi haqidagi

tasavvurlarga zid emas, balki xuddi ana shu xaotiklik tufayligina shunday taqsimot yuzaga keladi.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti qonunini chiqarishga kirishishdan avval taqsimot haqidagi masalaning mohiyatini aniqlaylik. Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimotini aniqlash degan so'z, go'yo berilgan u yoki bu tezliklarga ega bo'lган molekulalar sonini aniqlashdek tuyuladi. Biroq masala bunday qo'yilishda ma'noga ega bo'lmaydi, chunki aniq (matematik aniq!) berilgan tezlikka ega bo'lган molekulalarning ehtimol tutilgan soni nolga teng. Chunki tezlikning turli qiymatlari soni cheksiz katta. Molekulalarning soni esa chekli. Shuning uchun tezlikning har bir ixtiyoriy berilgan qiymatiga to'g'ri keladigan molekulalar soni nolga teng. Ana shu sababga ko'ra masala boshqacha ifodalangan bo'lishi kerak: qancha molekula (yoki molekulalarning qanday qismi) berilgan tezlik yaqinidagi biror intervalda yotuvchi tezliklarga ega bo'ladi?

Statistik masalalar hamma vaqt ham ana shu yo'sinda qo'yiladi. Masalan, mamlakatning aholisi yoshiga nisbatan qanday taqsimlanishini aniqlash kerak bo'lsa, bu degan so'z biror aniq (matematik aniq) yoshdagi odamlarning ehtimol tutilgan sonini aniqlash degan ma'noni anglatmaydi. Bunday masalaning ma'nosи yo'q, chunki yoshning turli qiymatlari soni cheksiz katta, odamlar soni esa chekli. Yoshlari faqat ma'lum intervalda yotgan odamlarning ehtimol tutilgan soninigina aniqlash mumkin. Kundalik hayotimizda falon odam 18 yoshda deganimizda biz uning yoshi roppa-raso 18 yosh 0 kun, 0 minut, 0 sekund demoqchi bo'lmaymiz. Bizning aytganimiz shu kishining yoshi 18 va 19 orasidagi intervalda yotadi demakdir. Huddi shuningdek, masalan, Maorif vazirligi o'quv yilida maktablarning ishlashini rejalashtirar ekan maktabga boruvchi yetti yoshli bolalar soni bilan qiziqadi, biroq, unda u 1 sentyabr soat ertalab 8 da roppa-raso 7 yoshga to'lган bolalar soni bilan qiziqadi degan gap emas. Vazirlikni yetti va sakkiz yoshlar orasidagi bolalar soni qiziqtiradi.

**Taqsimot funksiyasi.** Zarralarning tezliklar bo'yicha taqsimlanishini o'rganishda biz ham tezliklari (yoki tezlik komponentalari) ma'lum tezliklar intervalida yotgan zarralar sonini izlaymiz. Tezliklari biror  $v$  dan  $v + \Delta v$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi  $\Delta n$  zarralar soni intervalning katta bo'lishiga bog'liq, ya'ni  $\Delta n \square \Delta v$  yoki

$$\Delta n = a \Delta v \quad (1)$$

bo'lishi ravshan, bu yyerda  $a$  — proportsionallik koeffitsienti.

Shuningdek,  $\Delta n$  tezlikning o'ziga bog'liq bo'lishi ham ravshan, chunki intervallarning kattaliklari birday, biroq tezlikning absolyut qiymatlari turlicha bo'lganida zarralar soni turlicha bo'ladi. Haqiqatan ham, masalan, 99 dan 100 gacha yosh intervalidagi odamlar soni bilan 30 dan 31 gacha yoshlar intervalidagi odamlar sonidan farqli bo'ladi, holbuki ikkala holda ham intervallar oralig'i birday. Demak, (1) formuladagi proportsionallik koeffitsienti tezlikning funksiyasi bo'lishi kerak:

$$a = f(v).$$

Nihoyat,  $\Delta n$  kattalik, shuningdek hajm birligidagi zarralar soni  $n$  ga ham proportsional bo'lishi kerak. Shuning uchun  $\Delta n$  ning formulasi shunday ko'rinishda bo'lishi kerak:  $\Delta n = nf(v)\Delta v$ .

Bu formulani odatda shunday ko'rinishda yoziladi:  $\frac{\Delta n}{n} = f(v)\Delta v$ . (2)

Bu formulada  $\frac{\Delta n}{n}$  kattalik tezliklari  $v$  dan  $v + \Delta v$  gacha yotgan hajm birligidagi zarralar ulushini bildiradi.  $f(v)$  funksiya *taqsimot funksiyasi* deb ataladi. Bizning vazifamiz bu funksiyaning ko'rinishini aniqlashdir. Uning ma'nosi (2) formuladan ravshan. Haqiqatan ham,  $\Delta v = 1$  bo'lganda

$$f(v) = \frac{\Delta n}{n}.$$

Bu degan so'z,  $f(v)$  funksiya tezliklari  $v$  tezlik yaqinidagi tezliklar intervali *birligida* yotgan zarralar ulushiga teng.

Limitga o'tib, (2) formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:  $\frac{dn}{n} = f(v)dv$ . (3)

Yuqorida gapirilgan ehtimollik haqidagi gaplardan (3) formuladagi  $\frac{dn}{n}$  kattalikning ehtimollik ma'nosiga ega ekanligi kelib chiqadi: bu kattalik gazning hajm birligidagi molekulalarining ixtiyoriy bittasining  $v$  tezlik yaqinidagi  $dv$  intervalda yotuvchi tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir.  $f(v)$  taqsimot funksiyasi kattaligiga esa shunday ehtimollik ma'nosini berish mumkin: bu kattalik gazning uning hajm birligidagi ixtiyoriy molekulasi  $v$  tezlik yaqinidagi birlik intervalda yotgan tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir. Shuning uchun uni *ehtimollik zichligi* deb yuritiladi.

Biz avval hosil qilgan barometrik formula molekulalarning tezliklari bir xil bo'lmay, tezliklar bo'yicha muayyan tarzda taqsimlangan bo'lgani uchun shunday ko'rinishga egadir. Bu taqsimot harakteri ham xuddi shu  $f(v)$  funksiyaning ko'rinishiga bog'liq. Avvaldan ma'lum bo'lgan barometrik formuladan foydalanib, biz taqsimot funksiyasining ko'rinishini aniqlasak, uning ko'rinishi molekulalar zichligining balandlikka bog'liq holda o'zgarish munosabati (3) ning o'zi bo'lar ekan:

$$n = n_0 e^{-\frac{mg}{kT}x}.$$

Taqsimot funksiyasini boshqa yo'llar bilan ham keltirib chiqarish mumkin ekanligini aytib o'taylik. Uni Maksvell (1859 y.) ehtimollik nazariyasi tasavvurlari asosida keltirib chiqardi. Boltzman (1877 y.) bu funksiyani gaz molekulalarining to'qnashuvlarini o'rganish asosida keltirib chiqardi. Bunday to'qnashuvlar tufayli ana shunday taqsimot qaror topadi. Barometrik formula ana shu formulaning natijasi sifatida chiqarilishi mumkin. Biz oson bo'lishi uchun yuqorida chiqargan barometrik formulamizdan taqsimot qonunini topish uchun foydalanamiz.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Taqsimot funksiyasi deganda nimani tushunasiz?

2. Ehtimollik zichligi tushunchasini izohlang?
3.  $\frac{mu^2}{2} = mgx$  formulani mohiyatini tushuntiring?
4.  $n = n_0 e^{-\frac{mg}{kT} x}$ . formuladagi  $kT$  ifodani tushuntiring?
5. Gaz molekulalarining komponentalariga misollar keltiring?

**9-Mavzu: Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti. Maksvell-Bolsman taqsimoti.**

**Reja:**

1. Molekulalarning tezliklari.
2. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti
3. Maksvell-Bolsman taqsimoti.

**Tayanch so'z va iboralar:** Taqsimot funksiyasi, kinetik energiya, potensial energiya,

molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti, Maksvell-Bolsman taqsimoti.

Og'irlik maydoni ta'siridagi bo'sh fazoga joylashtirilgan gaz to'ldirilgan idishni ko'z oldimizga keltiraylik. Idish ichidagi gaz muvozanatda bo'ladi va uning molekulalari tezliklar bo'yicha qandaydir tarzda taqsimlangan. Ana shu taqsimot qonunini topish talab qilinadi. Agar biror paytda idish sindirilsa, gaz molekulalari butun yo'naliishlar bo'ylab, jumladan, og'irlik kuchi ta'siriga qarshi – yuqoriga qarab ham harakatlana boshlaydi. Og'irlik taqsimotni aniqlashga imkon beradi.

Koordinata o'qlaridan biri, masalan, Z o'qni hisob boshi idish turgan joydan boshlanadigan qilib tik yuqoriga qarab yo'naltiramiz. Og'irlik kuchining faqat molekulalar tezligining z-komponentiga ta'sir qilishi ravshan, shuning uchun molekulalarning tezliklar bo'yicha emas, tezlikning  $v_z$  tashkil etuvchisi qiymatlari bo'yicha taqsimotini izlaysiz.

Molekulalarning Z o'q bo'ylab yuqoriga harakat qilishida ular zligining z – komponenti kamayib boradi. Agar, masalan, biror molekula uchun biror boshlang'ich  $z_0$  balandlikda bu komponenta  $v_{z0}$  ga teng bo'lgan bo'lsa, biror z balandlikda quyidagi energiya saqlanish qonuni o'rinni bo'ladi:

$$\frac{mv_{z0}^2}{2} = \frac{mv_z^2}{2} + mgz, \quad (40)$$

bu yerda  $v_z$  – tezlikning z-komponentasining z balandlikdagi qiymati. Kinetik energiyalari  $\frac{mv_z^2}{2} \leq mgz$  bo'lgan molekulalarning z dan yuqori balandlikka ko'tarila

olmasligi ravshan. Ular ko'tarilishi mumkin bo'lgan eng yuqori z balandlik  $z = \frac{v_{z0}^2}{2g}$  tenglikdan aniqlanadi. Bunday balandlikda bu molekulalarning  $v_z$  tashkil etuvchisi

nolga teng bo'lib qoladi va ular yuqoriga otilgan har qanday jism singari tezlanib pastga qulaydi.

Biror ixtiyoriy z balandlikda asos maydoni birga teng bo'lgan dz balandlikli gaz qatlamini ajratamiz (10-rasm). Bu qatlamdagi gaz harakatlanayotgan molekulalardan iborat. Bu molekulalar qatlam orqali pastdan yuqoriga va yuqoridan pastga o'tatayotgan molekulalardir (bizni faqat molekulalar tezliklarining z o'q bo'ylab tashkil etuvchilarigina qiziqtirayotganini eslatib o'taylik). qatlamdagi pastdan yuqoriga va yuqoridan kelayotgan molekulalarning farqi shuki, pastdan kelayotgan molekulalar tezliklarining z – komponentalarining moduli  $\sqrt{2gz}$  qiymatdan katta, yuqoridan kelayotgan molekulalar tezliklarining z-komponentalari esa 0 dan  $\infty$  gacha bo'lgan ixtiyoriy qiymatga ega bo'lishi mumkin.

qatlamdagi molekulalar soni o'zgarmas bo'lishi kerak bo'lgan muvozanat holatida yuqoridan pastga o'tayotgan molekulalar soni pastdan yuqoriga o'tayotgan molekulalar soniga teng bo'lishi kerak.

$z_0$  balandlikda tezliklarining z-komponentalari  $v_{z0}$  dan  $v_{z0} + dv_{z0}$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi molekulalar soni quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$dn_{z0} = n_{z0} f(v_{z0}) dz v_{z0} .$$

Z balandlikda biz tanlagan qatlamni vaqt birligi ichida  $n_{z0} v_{z0} f(v_{z0}) dv_{z0}$  ta shunday molekulalar kesib o'tadi (18 betga qarang). qatlamni pastdan yuqoriga kesib o'tuvchi molekulalarning umumiyligi sonini (bu soni  $N_\uparrow$  bilan belgilaymiz) quyidagicha yozish mumkin:

$$N_\uparrow = \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} n_{z0} v_{z0} f(v_{z0}) dv_{z0} = n_{z0} \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} v_{z0} f(v_{z0}) dv_{z0}$$

Xuddi shunday qatlamni yuqoridan pastga kesib o'tuvchi molekulalar soni  $N_\downarrow$  quyidagiga teng bo'ladi:

$$N_\downarrow = \int_0^{\infty} n_z v_z f(v_z) dv_z = n_z \int_0^{\infty} v_z f(v_z) dv_z$$

Muvozanat holatida, aytib o'tganimizdek,  $N_\uparrow$  va  $N_\downarrow$  bir-biriga teng bo'lishi kerak:

$$n_{z0} = \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} f(v_{z0}) dv_{z0} = n_z \int_0^{\infty} f(v_z) v_z dv_z$$

Bu tenglikning har ikki qismini  $n_{z0}$  ga bo'lib va barometrik formulaga muvofiq  $\frac{n_z}{n_{z0}} = e^{-\frac{mgz}{rT}}$  ekanligini nazarga olib, shunday yozamiz:

$$\int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} f(v_{z0})v_{z0}dv_{z0} = e^{-\frac{mgz}{rT}} \int_0^{\infty} f(v_z)v_zdv_z \quad (41)$$

(40) energiya saqlanish qonunini differentsiallab ( $v_z$  ning qiymati aniq ekanini nazarga olib) quyidagini olamiz:

$$v_{z0}dv_{z0} = v_zdv_z$$

(41) tenglamaning chap tomonidagi integral ostidagi  $v_{z0}dv_{z0}$  ning qiymatini unga teng bo'lgan  $v_zdv_z$  qiymatga almashtiramiz. Bunda integrallashning pastki chegarasini nol bilan almashtiramiz va u tenglama shunday bo'ladi:

$$\int_0^{\infty} f(v_{z0})v_zdv_z = e^{-\frac{mgz}{rT}} \int_0^{\infty} f(v_z)v_zdv_z$$

Bundan quyidagi kelib chiqadi:

$$f(v_{z0}) = f(v_z)e^{-\frac{mgz}{rT}}$$

yoki

$$f(v_z) = f(v_{z0})e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} \quad (42)$$

Energiyaning saqlanish qonuni (40)ni nazarga olib, (42) tenglik faqat

$$f(v_z) = Ae^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} \quad \text{va} \quad f(v_{z0}) = Ae^{-\frac{mv_{z0}^2}{2rT}}$$

bo'lgandagina o'rini ekanini ko'rish qiyin emas (yuqoridagi ifodalarda  $A$  – biror o'zgarmas). Bunga ishonch hosil qilish uchun (40) ni nazarga olgan holda bu funksiyalarni (42) formulaga qo'yishning o'zi etarli. Taqsimot funksiyasining har qanday boshqa ko'rinishida (42) tenglama energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq kelmaydi.

SHunday qilib,  $v_z$  o'q bo'ylab tezlik tashkil etuvchilar bo'yicha molekulalar taqsimoti funksiyasi shunday ko'rinishda bo'ladi:

$$f(v_z) = Ae^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} \quad (43)$$

Tezliklarning  $v_z$ -komponentalari  $v_z$  dan  $v_z + dv_z$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi molekulalar soni endi quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$dn = nAe^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z \quad \text{yoki} \quad \frac{dn}{n} = nAe^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z$$

YUQorida ko'rsatib o'tganimizdek,  $\frac{dn}{n}$  gaz ixtiyoriy molekulasi tezligining z-komponentasi  $d\nu_z$  gacha aniqlikda  $\nu_z$  ga teng ekanligi ehtimolligi edi. Biz yana taqsimot funksiyasiga kiruvchi A o'zgarmasni aniqlashimiz kerak. Buning uchun  $\frac{dn}{n}$  ni  $\nu_z$  ning  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha mumkin bo'lган barcha qiymatlari bo'yicha integrallash etarli. Bunda biz gaz molekulasining biror qiymatli z-komponentali tezlikka ega bo'lish ehtimolligini olamiz. Bunday ehtimollik birga teng, chunki har qanday molekula to'g'risida bu molekula qandaydir z-komponentali tezlikka egadir, deb ishonch bilan aytish mumkin ( $\nu_z = 0$  qiymat boshqa qiymat bilan teng ahamiyatli!). SHunday qilib,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dn}{n} = A \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z = 1,$$

bundan

$$A = \left( \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z \right)^{-1}.$$

Bu integralni hisoblash uchun yangi o'zgaruvchi  $x^2 = mv_z^2 / 2rT$  kiramiz. U holda

$$\nu_z = \sqrt{\frac{2rT}{m} x} \quad \text{va} \quad d\nu_z = \sqrt{\frac{2rT}{m}} dx.$$

SHuning uchun,

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z = \sqrt{\frac{2rT}{m} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx}$$

Ma'lumki,  $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$ . Binobarin,

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} d\nu_z = \sqrt{\frac{2\pi rT}{m}}$$

(43) tenglamadagi bizni qiziqtirayotgan A o'zgarmas quyidagiga teng:

$$A = \left( \frac{m}{2\pi rT} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Taqsimot funksiyasining ifodasi shunday ko'inishga keladi:

$$f(v_z) = \frac{dn}{ndv_z} = \left( \frac{m}{2\pi rT} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{mv_z^2}{2rT}} \quad (44)$$

Bu funksiyaning grafik tasviri 11-rasmida ko'rsatilgan. Grafikdan  $f(v_z)$  aeyrwbzybyu  $v_z \rightarrow \infty$  da nolga intilish ko'rinish turibdi. Biroq tezligining z-komponentasi nolga teng bo'lgan molekulalar ulushi nolga teng emas. (44) formuladan va 11-rasmdagi egri chiziqdan tezliklarning z-komponentasi nolga yaqin bo'lgan molekulalar ulushi A ga teng (bu o'zgarmasning fizikaviy ma'nosi ham shundan iborat). Temperatura ortishi bilan bunday molekulalar ulushi kamayadi. Molekulalarning tezlik tashkil etuvchilari bo'yicha taqsimot funksiyasini og'irlik kuchi ta'siridagi gaz holi uchun hosil qilgan Edik. Molekulalarning tezlik tashkil etuvchilari bo'yicha taqsimot funksiyasi ko'rinishi qandaydir yo'sinda og'irlik kuchining ta'siri bilan bog'langan yoki og'irlik kuchi ana shunday taqsimlanishni hosil qiladi degan ma'noni bildirmaydi. Yuqorida ko'rsatib o'tganimizdek, biz taqsimot funksiyasini chiqarishda foydalangan barometrik formulaning o'zi molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimlanishining natijasidir. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonunini (formulasini) keltirib chiqarishda og'irlik kuchining roli faqat shundan iboratki, og'irlik kuchi gazda shunday taqsimot mavjud ekanini «namoyon» qiladi. Og'irlik kuchining bunday taqsimlanishning qaror topishida hech qanday roli yo'q ekanligi taqsimot funksiyasi ifodasida og'irlik kuchini xarakterlovchi g kattalikning ishtirok etmasligidan ham ko'rinish turibdi.

### **Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti**

Gaz molekulalarining tezliklarning z-komponentalari bo'yicha taqsimot funksiyasining yuqorida chiqarilgan ifodasi

$$\frac{dn_z}{ndv_z} = Ae^{-\frac{mv_z^2}{2rT}}$$

tezlikning faqat z-komponentasi uchungina «imtiyozli» emas. Molekulalarning tezliklarning boshqa komponentalari bo'yicha taqsimot funksiyalari ham shunday aniqlanishi kerak, shuning uchun

$$\frac{dn_q}{ndv_q} = Ae^{-\frac{mv_q^2}{2rT}}, \quad \frac{dn_y}{ndv_y} = Ae^{-\frac{mv_y^2}{2rT}}$$

Endi biz molekula tezligining Ayni bir gvaqtida uch shartni qanoatlantirish ehtimolligini topishimiz mumkin:

- 1) tezlikning X o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_x$  dan  $v + dv_x$  gacha chegaralarda yotadi;
- 2) tezlikning Y o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_y$  dan  $v_y + dv_y$  gacha chegaralarda yotadi;
- 3) tezlikning Z o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_z$  dan  $v_z + dv_z$  gacha chegaralarda yotadi.

Tezlik tashkil etuvchilarining har bir koordinata o'qlari bo'yicha qiymatlari boshqa o'qlar bo'yicha tashkil etuvchilarning qiymatlariga bog'liq bo'lmaydi. SHuning uchun molekula tezligining bir gvaqtida ko'rsatilgan uchala shartni qanoatlantirish ehtimolligi bu murakkab «voqe»ning ehtimolligidir. Bunday ehtimollik esa har bir alohida voqealar ehtimolliklarining ko'paytmasiga teng ekanligini bilamiz. Agar biz koordinata o'qlari bo'yicha tashkil etuvchilari yuqorida ko'rsatilgan chegaralarda bo'lgan hajmi birligidagi molekulalar sonini  $dn_{xyz}$  bilan belgilasak, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\frac{dn_{xyz}}{n} = A^3 e^{-\frac{mv^3}{2rT}} dv_x dv_y dv_z,$$

bu yerda  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ . Bundan

$$dn_{xyz} = nA^3 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv_x dv_y dv_z$$

yoki

$$dn_{xyz} = n \left( \frac{m}{2\pi r T} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv_x dv_y dv_z \quad (45)$$

Bu formula hajm birligidagi gaz molekulalari sonidan qanchasi koordinata o'qlari bo'ylab tashkil etuvchilari  $v_x$  va  $v_x = dv_x, v_y$  va  $v_x = dv_x, v_z$  va  $v_z + dv_z$  intervallarda yotgan tezlikli molekulalar ekanini, ya'ni tezliklari kattaligi jihatidan ham, yo'nalishi jihatidan ham berilgan intervalda yotuvchi molekulalar sonini ko'rsatadi. Bu formulaga yaqQol geometrik ma'no berish mumkin.

Gazning hajm birligidagi  $v$  tezlik komponentalari yuqorida ko'rsatilgan intervallarda bo'lган barcha molekulalarni to'pladik va ularni chiqarib yubordik deb faraz qilaylik. Bir sekunddan so'ng ularning hammasi boshlang'ich vaziyatdan  $v$  masofada va tomonlari  $dv_x, dv_y, dv_z$  bo'lган parallelepiped ichida, ya'ni

$d\omega = dv_x dv_y dv_z$  hajmda bo'ladi. Bu 12-rasmda bizning fikriy tajribamiz o'ziga xos koordinatalar sistemasida tasvirlangan bo'lib, uning o'qlari bo'ylab  $v_x, v_y \& v_z$

tashkil etuvchilar qo'yilgan. Bu parallelepipedning hajm birligidagi molekulalar soni (45) formulaga muvofiq (gazning hajm birligidagi molekulalar soni bilan chalkashtirmaslik kerak: bu yerda gap tezliklar «fazosi» dagi hajm birligi ustida boradi) quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{dn_{xyz}}{d\omega} = n \left( \frac{m}{2\pi r T} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2rT}}$$

Bu kattalik, albatta  $v$  tezlik vektorining yo'nalishiga bog'liq bo'lishi mumkin emas. SHuning uchun endi molekulalarning tezliklar bo'yicha ularning yo'nalishiga bog'liq bo'limgan holda taqsimot funksiyasini topish qiyin emas. Haqiqatan ham, gazning hajm birligidagi tezliklari barcha yo'nalishlar bo'yicha  $v$  dan  $v qd v$  gacha intervalda bo'lган barcha molekulalarni bir joyga to'plasak va so'ngra chiqarib yuborsak, ular har tomonga uchib ketib, 1 sekunddan so'ng radiusi  $v$  va qalinlligi  $d v$  bo'lган shar qatlamida (13-rasm) tekis taqsimlangan bo'ladi. Bu shar qatlamni biz yuqorida qayd qilgan «parallelepipedlar» ning yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu qatlam hajm birligidagi molekulalar soni (yana gaz hajmi birligidagi molekulalar soni bilan chalkashtirmaslik kerak) har bir parallelepipeddagi singari bo'ladi, ya'ni (45) formula bilan aniqlanadi. *Butun* qatlamdagi molekulalar soni esa gaz hajmi birligidagi tezliklari  $v$  dan  $v qd v$  gacha bo'lган intervalda yotgan molekulalar sonidir.

Bu son quyidagiga teng bo'lishi ravshan

$$dn = n \left( \frac{m}{2\pi r T} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d\Omega,$$

bu yerda  $d\Omega$  - shar qatlaming  $4\pi v^2 dv$  ga teng bo'lган hajmi. SHunday qilib,

$$dn = 4\pi n \left( \frac{m}{2\pi r T} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv = \frac{4}{\sqrt{\pi}} n \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv$$

$$\text{yoki} \quad \frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv$$

Bu formula *molekulalarning tezliklari bo'yicha Maksvell taqsimot qonunini ifodalaydi.*

$\frac{dn}{n}$  kattalik – gazning ixtiyoriy tanlangan molekulasi albatta  $v$  va  $v qd v$  orasidagi intervalda yotuvchi tezlikka ega bo'lishi ehtimolligidir. Boshqacha aytganda,  $\frac{dn}{n}$

kattalik tezliklari  $v$  va  $v_{\text{qd}}$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi barcha molekulalarning ulushidir.  
quyidagi

$$f(v) = \frac{dn}{ndv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} \quad (46)$$

kattalik molekulalarning tezliklar bo'yicha *taqsimot funksiyasi*dir. Bu funksiya gaz hajmi birligidagi molekulalarning tezliklari ayni shu tezlikni o'z ichiga olgan tezliklarning birga teng intervalida yotgan ulushini bildiradi.

Maksvell taqsimot funksiyasining ko'rinishi grafik ravishda 14-rasmida ko'rsatilgan. Bu funksiya  $v=0$  va  $v \rightarrow \infty$  da nolga aylanadi, bunday bo'lishi tabiiy: gazda harakatsiz molekulalar va tezliklari cheksiz katta bo'lgan molekulalar yo'qyu 14-rasmdagi egri chiziqdan tezlikning biror  $v_{\text{e.e.}}$  qiymatida taqsimot funksiya maksimumga ega bo'lishi ko'rinish turibdi, ya'ni gaz barcha molekulalarining eng ko'p ulushi  $v_{\text{e.e.}}$  ga yaqin tezliklar bilan harakterlanadi. SHuningdek, bunday deyish mumkin: gaz molekulalarida  $v_{\text{e.e.}}$  ga yaqin bo'lgan tezliklar boshqalaridan ko'proq uchraydi, molekulaning tezligi  $v_{\text{e.e.}}$  ga yaqin bo'lish ehtimolligi eng kattadir. SHuning uchun Maksvell taqsimoti egri chizig'inining maksimumi *eng katta ehtimollikli* tezlik deyiladi.

Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimoti va tezlik *komponentalari* bo'yicha taqsimoti orasidagi farqni yaxshi tushunish uchun tasodifiylik qonunlari xudi molekulalarning taqsimotidagi kabi asosiy rol o'ynaydigan boshqa protsesni qarab chiqamiz.

Faraz qilaylik, nishonning markazidagi nuqtasi mo'ljalga olinib o'q uzilayotgan bo'lsin. Otuvchi qancha mergan bo'lmasin va qurol qanchalik aniq sozlangan bo'lmasin, o'qlar mo'ljallanayotgan nuqtaga aniq tegmaydi, balki nuqta atrofida biror masofada yoyilgan bo'ladi (15-rasm). Bunga amalda hisobga olish mumkin bo'lмаган bir qancha sabablar bor: patrondag'i zaryadlar tamomila bir xil bo'lmasligi, shamolning ta'siri va shunga o'xshashlar (gazda esa bunday tasodifiy vaktorlar rolini molekulalararo to'qnashuvlar o'ynaydi, bu haqda keyinroq to'xtalib o'tamiz). Juda ko'p o'q uzilganda o'qlarning mo'ljallanayotgan nuqta atrofida taqsimlanishi muayyan qonunga bo'y sunar ekan. Bu qonun xarakterini aniqlash qiyin emas. 15-rasmida o'qlarning mo'ljallanayotgan nuqta atrofidagi tekkan joylari tasvirlangan. Bunday taqsimotni ikki xil baholash mumkin. Nishonning butun maydonini, otish bo'yicha musobaqlarda qilinadigandek, bir-biridan teng  $\Delta r$  masofalarda qator aylanalar o'tkazib, halqasimon polosalarga ajratish va har bir polosadagi o'q o'rning  $\Delta n$  sonini aniqlash, ya'ni mo'ljallangan nuqtadan r masofadagi r dan  $r_{\text{q}} \Delta r$  gacha intervalga to'g'ri keluvchi o'qlar o'rni sonini aniqlash mumkin. Agar markaziy doira kichik bo'lsa, undagi o'qlar o'rni nolga yaqin bo'ladi, chunki juda kichik doirani mo'ljallab bo'lmaydi. Halqasimon polosalarning markazdan uzoqligi ortgan sari o'qlar o'rni soni avval orta boradi, biror maksimumga yetgandan keyin kamayadi va etarlicha uzoqlashgach, nolga teng bo'ladi (16-rasmdagi egri chiziqqa qarang).

Boshqacha yo'1 tutish ham mumkin. Nishon maydonini bir-biridan huddi shunday  $\Delta r$  masofada turgan qator parallel chiziqlar vositasida polosalarga bo'lamiz (17-rasm). Endi har bir polosaga to'g'ri keladigan o'q o'rnlari hisoblansa, uning markaziy polosadan uzoqlashgan sari  $\Delta n$  monoton kamayib borishini, mo'ljallangan nuqtadan etarlicha katta masofada nolga intilishni rasmdan oson ko'rish mumkin; bu 17-rasmdagi egri chiziqdan va 11-rasmdagi shunga o'xhash egri chiziqdan ko'rinish turibdi.

Bayon qilingan usullarning birinchisi  $f(v)$  funksiyani aniqlash, ikkinchisi esa  $f(v_x)$  tezlikning komponentalari bo'yicha taqsimot funksiyasini aniqlash usulidir.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot egri chizig'idan foydalanib, hajm birligidagi gaz molekulalarining tezliklari berilgan  $d\nu$  tezliklar intervalida bo'lган  $\frac{dn}{n}$  ulushini grafik tarzida aniqlash mumkin. Bu ulush 14-rasmdagi asosan  $d\nu$  va balandligi  $f(v)$  bo'lган shtrixlangan polosaning maydonga teng. Taqsimot egri chizig'i va tekisliklar o'qi orasidagi hamma maydon hajm birligidagi molekulalarning umumiy sonini berishi ravshan. (46) formuladan ko'rinish turganidek, taqsimot egri chizig'inining ko'rinishi gazning tabiatini va temperaturasiga bog'liq (formulaga molekulaning massasi  $m$  kiradi). 18-rasmda azot molekulalarining turli temperaturalarda tezliklar bo'yicha taqsimlanish egri chiziqlari berilgan. Bu egri chiziqlar temperaturaning ortishi bilan molekulalarning tezliklari ortishini, butun egri chiziqning esa katta tezliklar tomoniga siljishini ko'rsatadi. Biroq egri chiziqlar va tezliklar o'qi bilan chegaralangan maydon, albatta, o'zgarmaydi. SHu tufayli temperatura ortishi bilan egri chiziqning maksimumi pasayadi.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimoti tenglamasini chiqarishda molekulalararo to'qnashuvlarni mutlaqo inobatga olmadik, holbuki to'qnashuvlar molekulalarning tezliklariga, ya'ni ularning tezliklar bo'yicha taqsimlanishiga ta'sir ko'rsatmay iloji yo'q. Aslida esa ana shu to'qnashuvlar tufayligina tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimoti yuzaga keladi. Haqiqatan ham. Gaz shunday holatdaki, uning barcha molekulalari birday tezlikka (moduli jihatidan) ega deb faraz qilaylik. Bunday holat turg'un (muvozanat) holati bo'la olmaydi, chunki to'qnashuvlar shunga olib keladiki, molekulalarning tezliklari birday bo'lmay qoladi. Ikki molekulaning har qanday to'qnashuvida bir molekulaning tezligi ortadi, ikkinchisiniki kamayadi. Maksvell birinchi marta shunga e'tibor berdiki, uningcha, to'qnashuvlarda tezliklari ortadigan molekulalar soni to'qnashuvlar natijasida tezliklari kamayadigan molekulalar soniga teng bo'ladigan holat bo'lishi kerak. Bunday holat muvozanat holati bo'ladi. Molekulalarning tezliklari bo'yicha Maksvell taqsimoti xuddi shunday holatga muvofiq keladi. Keyinchalik Bolsman shuni ko'rsatadiki, agar gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimoti Maksvell taqsimoti bo'yicha bo'lмаган holatda bo'lsa, bunday gaz molekulalarining to'qnashuvlari tufayli Maksvell taqsimoti bo'ladigan holatga o'z-o'zidan o'tar ekan. Maksvell taqsimoti (ba'zida Maksvell-Bolsman taqsimoti deb ham yuritiladi) – muvozanatlari taqsimotdir. Biz bu taqsimotni qarashni uni muvozanatlari taqsimot deb qarashdan boshladik. SHuning uchun, masalan, (43) formulani chiqarishda

to'qnashuvlarni hisobga olish kerak bo'lindi. Agar  $\Delta_{\text{z}}$  qatlamni tashlab ketgan qandaydir molekulalar to'qnashuvlar tufayli  $\Delta_z$  Qatlamga etmagan bo'lsa, buning o'rniga bu qatlamga etishi lozim bo'lmasan qandaydir boshqa molekulalar to'qnashuvlar tufayli bu qatlamga etgan.

Gazda bo'ladigan molekulyar harakatlarni hamma vaqt biz xaotik deb atadik. Endi issiqlik harakatlarining xaotikligi tushunchasiga aniq ta'rif berishimiz mumkin: *agar molekulalar tezliklari Maksvell qonuniga muvofiq taqsimlangang bo'lsa, molekulalarning harakati batamom tartibsiz* (xaotik) *bo'ladi*.

Gaz muvozanat holatda bo'lganida molekulalar ana shunday tamomila xaotik harakatda bo'ladi. 3-§ da ko'rganimizdek, bu holat temperatura kattaligi bilan, temperatura esa o'znavbatida molekulalar harakatining o'rtacha kinetik energiyasi bilan xarakterlanadi. Bundan temperaturaning Ayni shu *xaotik* harakatlar o'rtacha kinetik energiyasi bilan aniqlanishi kelib chiqadi. Molekulalarning har qanday yo'naligan harakatlari, bunday harakatda ularning tezliklari qanday bo'lmasin, temperaturaga hech qanday aloqador emas. Kuchli shamol hosil havo tezligi qanchalik katta bo'lmasin, u havoni isitmaydi. Hatto eng kuchli shamollar ham issiq yoki sovuq bo'lishi mumkin, chunki gazning temperaturasi shamolning yo'nalishli tezligi bilan emas, molekulalarning butun gazdagi yo'nalishli harakati bilan birga bu harakatidan mustaqil ravishda xaotik harakatlari bilan belgilanadi.

### **Mustahkamlash uchun savollar**

1. Taqsimot funksiyasi deganda nimani tushunasiz?
2. Eng katta ehtimollikli tezlik deganda nimani tushunasiz?
3. Maksvell-Bolsman taqsimotini tushuntiring?
4. Muvozanatli taqsimotni izohlang.
5. Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimoti va tezlik *komponentalari* bo'yicha taqsimoti orasidagi farq qanday?

## **10-mavzu. Nisbiy tezliklar bo'yicha Maksvel taqsimoti. Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik va eng katta ehtimolli tezliklari.**

**Reja:**

1. Nisbiy tezliklar
2. Nisbiy tezliklar bo'yicha Maksvel taqsimoti.
3. Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik tezligi
4. Gaz molekulalarining eng katta ehtimolli tezliklari.

**Tayanch so'z va iboralar:**

### **Molekulalarning o'rtacha tezliklari**

Maksvell taqsimot funksiyasidan foydalanib, molekulyar fizika uchun muhim bo'lgan bir qator kattaliklarni hisoblash mumkin. Bu yyerda misol tariqasida o'rtacha arifmetik tezlik  $\bar{v}$  ni, avval hisoblab topilgan o'rtacha kvadratik tezlik  $\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2}$  ni va nihoyat, eng katta ehtimolli tezlik  $v_{e.e.}$  ni keltirib chiqaramiz. Molekulalarning o'rtacha arifmetik tezliklarini hisoblashdan boshlaymiz.

Ta'rifga ko'ra, *o'rtacha arifmetik tezlik*  $\bar{v}$  hajm birligidagi hamma molekulalarning hamma tezliklari yig'indisining hajm birligidagi molekulalar soniga nisbatiga teng. Hajm birligida tezliklari  $v$  dan  $v + dv$  gacha intervalda yotgan molekulalar soni  $nf(v) dv$  ga teng bo'lishi ravshan. Bunday barcha molekulalar tezliklari yig'indisi  $\int v nf(v) dv$  ga teng. Har qanday tezlikka ega bo'lgan barcha molekulalarning tezliklari yig'indisini topish uchun bu funksiyaga noldan cheksizlikkacha mumkin bo'lgan barcha tezliklar bo'yicha integrallash kerak. Binobarin, barcha tezliklarning yig'indisi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\int_0^\infty v nf(v) dv,$$

o'rtacha arifmetik tezlik esa

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \int_0^\infty v n f(v) dv = \int_0^\infty v f(v) dv \quad (47)$$

Bu erga  $f(v)$  uchun avval olingan (46) ifodani qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\bar{v} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} \int_0^\infty v^3 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv \quad (48)$$

Bu ifodaga kirdigan integralni hisoblash uchun integral osti ifodani o'zgartiramiz:

$$v^3 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv = v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} v dv$$

Bundagi  $v dv = \frac{1}{2} d(v^2)$  bo'lgani uchun

$$v^3 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv = \frac{1}{2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d(v^2)$$

va

$$\bar{v} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} \cdot \frac{1}{2} \int_0^\infty v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d(v^2)$$

Yangi o'zgaruvchi  $z = mv^2 / 2rT$  kiritib, integralni shunday yozamiz:

$$\frac{1}{2} \int_0^\infty v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d(v^2) = \frac{1}{2} \left( \frac{2rT}{m} \right)^2 \int_0^\infty z e^{-z} dz,$$

va bo'laklab integrallash yo'li bilan quyidagini olamiz:

$$\int_0^\infty z e^{-z} dz = 1.$$

SHunday qilib, (48) formuladagi integral uchun shunday ifodani olamiz:

$$\int_0^{\infty} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} dv = 2 \left( \frac{rT}{m} \right)^2$$

Uni (48) ga qo'yib  $\bar{v}$  uchun shunday ifodani keltirib chiqaramiz:

$$\bar{v} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} \cdot 2 \left( \frac{rT}{m} \right)^2 = \sqrt{\frac{8rT}{\pi m}} \quad (49)$$

Tezlikning biror koordinata o'qi bo'yicha *tashkil etuvchisining* o'rtacha arifmetik qiymatini ham xuddi shunday tarzda hisoblash mumkin.

Umuman aytganda, tezlikning ixtiyoriy komponentasining o'rtacha qiymati nolga teng bo'lishi mumkin, chunki tezlikning komponentasi teng ehtimollik bilan musbat va manfiy bo'lishi mumkin. Biroq bunday komponenta *modulining* o'rtacha qiymati to'g'risida bunday deb bo'lmaydi. Masalan, tezlikning x-komponentasi modulining o'rtacha arifmetik qiymatini, ya'ni  $|\bar{v}_x|$  kattalikni topaylik. Uning uchun (47) ga o'xshash tenglamani yozish mumkin:

$$|\bar{v}|_x = \int_{-\infty}^{\infty} v_x f(v_x) dv_x \quad (50)$$

Bu yerda  $f(v_x)$ - molekulalarning  $v_x$  tashkil etuvchi bo'yicha taqsimot funksiyasi bo'lib, biz uni avval topgan Edik:

$$f(v_x) Q \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{1/2} e^{-\frac{mv_x^2}{2rT}}$$

Bu ifodani (50) ifodaga qo'yib yozamiz:

$$|\bar{v}|_x = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{1/2} \int_{-\infty}^{\infty} v_x e^{-\frac{mv_x^2}{2rT}} dv_x$$

Bu formulaga kiruvchi integral  $mv_x^2 / 2rT = z^2$  o'zgaruvchi almashtirish yo'li bilan olinadi. U holda  $|\bar{v}_x|$  uchun shunday ifoda hosil bo'ladi:

$$|\bar{v}_x| = \sqrt{\frac{2rT}{\pi m}} \quad (51)$$

(49) va (51) ifodalarni taqQoslاب x-komponenta modulining o'rtacha qiymati  $|\bar{v}|$  tezlikning o'rtacha qiymati  $\bar{v}$  dan ikki marta kichik ekanini aniqlaymiz:

$$|\bar{v}_x| = \bar{v} / 2.$$

Bu ifoda bizga vaqt birligi ichida idish devorining birlik yuziga urilayotgan molekulalarning o'rtacha urilishlari sonini topishdan iborat qiziqarli masalani hal qilishga imkon beradi.

$\Delta t$  vaqt ichida yuzi  $S$  bo'lgan maydonni kesib o'tuvchi molekulalarning soni  $\frac{1}{2}n\nu_x S\Delta t$  ga teng. Bundan vaqt birligi ichida birlik yuziga  $\frac{1}{2}n\nu_x$  molekula tushadi degan xulosa chiqadi. Bu yerda  $\nu_x$  ni uning o'rtacha qiymati  $\bar{\nu}_x$  bilan almashtirib, vaqt birligi ichida birlik yuzaga urilayotgan molekulalarning o'rtacha soni  $\bar{\nu}$  ni topamiz:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{2} n |\nu_x| = \frac{n \bar{\nu}_x}{4}.$$

*Molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi.* Molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi  $\sqrt{\nu^2}$  ni topish uchun hajm birligidagi molekulalar tezliklari kvadratlari yig'indisining hajm birligidagi molekulalar soniga nisbatini hisoblash kerak. Bundan avvalgi mulohazalarimizni takrorlab shunday yozamiz:

$$\overline{\nu^2} = \int_0^\infty \nu^2 f(\nu) d\nu$$

Bu yerda  $f(\nu)$  uchun (46) ifodani qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\overline{\nu^2} = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi r T} \right)^{3/2} \int_0^\infty \nu^4 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d\nu.$$

Bu ifodadagi integralni bo'laklab integrallaymiz va quyidagi natijani olamiz:

$$\int_0^\infty \nu^4 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} d\nu = \frac{3}{8} \left( \frac{2rT}{m} \right)^{5/2} \sqrt{\pi}.$$

Bundan

$$\overline{\nu^2} = \frac{3rT}{m} = \sqrt{\nu^2} = \sqrt{\frac{3rT}{m}} \quad (52)$$

Avval ham shunday ifodani chiqargan edik.

### **Molekulalarning eng katta ehtimolli tezligi**

Endi molekulalarning eng katta ehtimolli tezligi  $v_{\text{max}}$  ni, ya'ni eng ko'p sondagi molekulalarning tezliklari yaqin bo'lgan tezlikni hisoblaylik. Bu tezlikka Maksvell taqsimoti egri chizig'ining maksimumi mos keladi. SHuning uchun  $v_{\text{max}}$  tezlikni topishda taqsimot funksiyasi (46) dan olingan hosilani nolga tenglash kerak:

$$\frac{d}{dv} f(v) = \frac{d}{dv} \left[ \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} \right].$$

Bu tenglik bajarilishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\frac{d}{dv} \left( v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}} \right) = 0$$

Differentsiallaganimizdan so'ng quyidagicha yozamiz:

$$2ve^{-\frac{mv^2}{2rT}} \left( 1 - \frac{mv^2}{2rT} \right) = 0$$

Bu tenglik yoki  $v=0$  yoki  $v=\infty$  bo'lganda yoki  $\left( 1 - \frac{mv^2}{2rT} \right) = 0$  shart bajarilganda o'rini bo'ladi. Bu shartlardan avvalgi ikkitasi taqsimot egri chizig'ining maksimumiga mos kelmaydi. Binobarin,  $v_{\text{max}}$  ning qiymati

$$1 - \frac{mv_{\text{max}}^2}{2rT} = 0$$

shartdan topilar ekan. Bundan

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2rT}{m}} \quad (53)$$

(49), (52) va (53) ifodalarni taqQoslab, tezlikning hisoblangan uchala qiymatlari orasidagi munosabatni topamiz:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3\pi}{8}} \bar{v} = 1,09 \bar{v} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_{\text{max}} = 1,22 v_{\text{max}}$$

Bu uchala qiymat orasidagi farqning katta emasligi, o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik tezlik ham eng katta ehtimolli tezlikka yaqin bo'lishi ko'rinish turibdi.

### Nisbiy tezliklar uchun Maksvell formulasi

Ko'p masalalarini echish uchun Maksvell formulasidan uning molekulalar tezligining odatdagi emas, balki nisbiy birliklarda ifodalangan shaklidan foydalanish qulay. Bunda tezlik birligi uchun molekulalarning eng katta ehtimolli tezligi  $v_{\text{max}}$  olinadi. Binobarin, nisbiy tezlik u quyidagiga teng bo'ladi:

$$u = v / v_{\text{max}}$$

Bu yerda  $v$ -molekulalarning berilgan tezligi,  $v_{\text{max}}$  esa berilgan temperaturadagi eng katta ehtimolli tezlikdir. Yuqorida hozir aniqlaganimizdek

$$v_{\text{max}} = \sqrt{2rT/m}$$

### Maksvell formulasi

$$\frac{dn}{ndv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2rT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2rT}}$$

da esa  $\frac{m}{2rT}$  dan ikkitasi qatnashadi. Formuladagi bu ifodani unga teng bo'lgan  $1/v_{\text{max}}^2$  ifoda bilan almashtirib va  $v/v_{\text{max}}$  ni u harfi bilan belgilab, Maksvell tenglamasini shunday ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{dn}{ndu} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 \quad (54)$$

Bu tenglama universal tenglamadir. Taqsimot funksiyasi bu ko'rinishda gazning turiga ham, temperaturaga ham bog'liq bo'lmaydi.

Xuddi shunday tenglamani tezliklarning koordinata o'qlari bo'yicha tashkil etuvchilariga ko'ra molekulalar taqsimoti funksiyasi uchun ham tuzish mumkin. Agar, masalan, tezlikning x-komponentasi haqida borayotgan bo'lsa, u holda bu yerda  $u_x = v_x / v_{\text{max}}$  nisbiy tezlikni kiritib (44) taqsimot funksiyasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{dn}{ndu_x} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} x \quad (55)$$

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimotiga tegishli turli masalalarini echish uchun taqsimot formulalarining (54) va (55) ko'rinishlaridan foydalanish qulay. Nisbiy tezliklar uchun taqsimot egri chizig'i byuerilgan.

Masalan,

$$\frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} \quad \text{va} \quad \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} x$$

funksiyalar  $u$  va  $u_x$  larning turli qiymatlari uchun avvaldan hisoblangan va grafiklar tarzda berilgan bo'lishi hamda ulardan izlanayotgan kattaliklarni aniqlash mumkin. 1-jadvalda bu funksiyaning ko'pchilik masalalarni yechish uchun yetarlicha aniqlikda hisoblangan qiymatlari berilgan. Masalan, azot zarralarining xona temperaturasida (300 K) tezliklari 275 va 276 m/sek oraliq'ida bo'lган molekulalar ulushini topish kerak bo'lsin.

Dastavval eng katta ehtimolli tezlikni topamiz:

$$v_{\text{ж.ж.}} = \sqrt{-\frac{2rT}{m}} = \sqrt{-\frac{2Rt}{\mu}} = \sqrt{-\frac{2.8,31 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2}{28}} \approx 394 \text{ м/сек}$$

Nisbiy tezlik u esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$u = \frac{v}{v_{\text{ж.ж.}}} = \frac{275}{394} \approx 0,70$$

### 1-jadval

$u_1$ $u_x$	$f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2}$	$f(u_x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e_x^2$	$u_1$ $u_x$	$f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2}$	$f(u_x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e_x^2$
0,1	0,022	0,558	1,2	0,770	0,133
0,2	0,087	0,542	1,3	0,703	0,104
0,3	0,185	0,515	1,4	0,623	0,079
0,4	0,308	0,480	1,5	0,535	0,059
0,5	0,439	0,439	1,6	0,447	0,044
0,6	0,567	0,393	1,7	0,362	0,031
0,7	0,677	0,345	1,8	0,286	0,022
0,8	0,761	0,297	2,0	0,165	0,010
0,9	0,813	0,251	2,2	0,086	0,004
1,0	0,830	0,208	2,4	0,041	0,002
1,1	0,814	0,168	3,0	0,003	-

$u=v/v_{\text{ж.ж.}}$  ifodadan  $du=dv/v_{\text{ж.ж.}}$  ekanligi kelib chiqadi. Ayni holda tezliklar intervali 1m/sek ga teng bo'lib, ancha kichik va  $du=\frac{\Delta v}{v_{\text{ж.ж.}}} = 0,0025$  deb hisoblash mumkin. 1-jadvaldagagi ma'lumotlarga ko'ra yasash oson bo'lган grafikdan  $u=0,70$  tezlikka funksiyaning quyidagi qiymati mos keladi:

$$\frac{dn}{ndu} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} = 0,677.$$

## Bundan

$$\frac{dn}{n} = 0,667 \cdot 0,0025 = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Demak, barcha molekulalarning faqat 0,17% iga masalada berilgan tezliklar intervalida yotar ekan.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti bilan bog'liq bo'lgan muhim masalalardan biri tezliklari berilgan tezlikdan yuqori bo'lgan molekulalar ulushini topishga doir masaladir. Bunday masalalarni yechish uchun ham nisbiy tezliklar uchun Maksvell formulasidan, ya'ni

$$\frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du$$

formuladan foydalanish qulay.

Agar tezliklari biror berilgan  $v$  qiymatdan, demak, muayyan u qiymatdan yuqori bo'lgan molekulalar ulushini topish kerak bo'lsa, u holda tenglamani berilgan u dan cheksizlikkacha bo'lgan chegaralarda integrallash kerak ekanligi ravshan, ya'ni

$$\frac{n_{>u}}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty z^2 e^{-z^2} dz,$$

bu yerda  $n_{>u}$  – nisbiy tezliklari berilgan u dan katta bo'lgan molekulalar soni. Binobarin, masalani echish bu yerdagi integralni hisoblashga keltiriladi. 2-jadvalda u ning turli qiymatlari uchun integralning qiymatlari berilgan. Jadvaldan tezliklari eng ehtimol tutilgan tezlikdan yuqori bo'lgan molekulalar, ya'ni tezliklari  $v > v_{\text{min}}$  bo'lgan molekulalar soni gazdag'i barcha molekulalarning 57,24% ga teng ekanligi, ya'ni yarmidan ko'p ekanligini ko'rish mumkin.

2-jadval.

$U$	$\frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty z^2 e^{-z^2} dz$	$U$	$\frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty z^2 e^{-z^2} dz$	$u$	$\frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty z^2 e^{-z^2} dz$
0,1	0,9992	0,8	0,7340	1,5	0,2123
0,2	0,9941	0,9	0,6550	1,6	0,1632
0,3	0,9807	1,0	0,5724	1,7	0,1230
0,4	0,9582	1,1	0,4900	1,8	0,0905
0,5	0,9190	1,2	0,4105	1,9	0,0602
0,6	0,8685	1,3	0,3370	2,0	0,0460
0,7	0,8061	1,4	0,2702		

Bu degan so'z, Maksvell taqsimoti egri chizig'i maksimumga nisbatan simmetrik bo'lmaydi va shunday ekanligi yuqorida berilgan grafiklardan ham ravshan ko'rilib turibdi.

## **Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni va planetalar atmosferalari**

yer atmosferasining tamomila muvozanat holatda bo'lmasligi va olam fazosiga havoning uzlusiz sochilishi mumkin ekanligiga biz yuqorida kitobxon e'tiborini jalb qilgan Edik. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni bu masalani batafsil o'rganishga imkon beradi.

Biror jism yerning tortish kuchini engib, uni tark yetishi uchun u ikkinchi kosmik tezlik deb atalmish  $1,12 \cdot 10^4$  m/sek tezlikka ega bo'lishi lozim ekanligi ma'lum. Bunday tezlikda jism cheksizlikka uzoqlashish uchun kerak bo'lgan ishni bajara oladigan kinetik energiyaga ega bo'ladi. Bu yer atmosferasidagi havo molekulariga ham tegishlidir.

Maksvell taqsimoti qonuniga muvofiq, atmosfera molekulalari ichida tezliklari ikkinchi kosmik tezlikdan yuqori bo'lgan molekulalar ham bor. Binobarin, shunday (huddi shunday) molekulalargina atmosferani tark etib olam fazosiga sochilishi mumkin.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti formulasi yer atmosferasi havosida bunday molekulalar qancha ekanligini topishga imkon beradi. Buni grafik ravishda hal qilish eng qulay hisoblanadi. Maksvell taqsimoti egri chizig'i berilgan, bunda tezliklar abstsissa o'qi bo'ylab  $v/v_{\text{...}}$  nisbiy birliklarda (16-§ ga q.) qo'yilgan va binobarin, egri chiziqning maksimumiga (eng katta ehtimolli tezlikka) birga teng abstsissa mos keladi. Ikkinci kosmik tezlik  $0^{\circ}\text{C}$  da  $3,94 \cdot 10^2$  m/sek ga teng bo'lgan eng katta ehtimolli tezlikdan 28 marta katta:

$$\frac{1,12 \cdot 10^4}{3,94 \cdot 10^2} = 28$$

bo'lgani uchun  $1,12 \times 10^4$  m/sek tezlikka 28 ga teng bo'lgan abstsissa mos keladi. Egri chiziqning ko'rinishidan hech qanday hisoblarsiz ham atmosferada uni tark etish uchun etarli tezliklarga ega bo'lgan zarralar soni naqada roz ekanligi ko'rilib turibdi. TaqQoslash uchun tezliklari  $2v_{\text{...}}$  va  $3v_{\text{...}}$  orasidagi intervalda bo'lgan zarralar ulushiga teng yuz shtrixlangan. Tezliklari  $28v_{\text{...}}$  dan katta bo'lgan zarralar ulushi bu diagrammadagi 28 raqamidan o'ng tomondagи yuzga teng bo'lar edi.

Massasi va demak, tortishish kuchi ham yernikidan ko'plab kichik bo'lgan Oy uchun ikkinchi kosmik tezlik  $2,4 \times 10^3$  m/sek ga teng. O'sha diagrammaning o'zida bu tezlikka qiymati 6 ga teng abstsissa to'g'ri keladi. Bunday tezlikka ega bo'lgan zarralar ulushi ham juda kam, biroq har holda agar Oyning qachonlardir atmosferasi bo'lgan bo'lsa, uning atmosferasini bizning davrimizdan uzoq vaqtlar ilgari amalda tamomila yo'qotishi mumkin bo'lishi uchun bu ulushni kam deb bo'lmaydi.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Maksvel taqsimotini tushuntiring?
2. O'rtacha kvadratik tezlik nima?
3. O'rtacha arifmetik tezlik nima?

4. O'rtacha ehtimollik tezligi nima?
5. Temperaturaning fizik ma'nosini ayting?
6. Molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi nima?
7. Nisbiy tezlikni izohlang?

### **11-mavzu. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish.**

**Fermi-dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi to'g'risidagi tushuncha.**

**Reja:**

1. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish.
2. Fermi-Dirak statistikasi.
3. Boze-Eynshteyn statistikasi.
4. Fermi-dirak va Boze-Eynshteyn statistikasidan kelib chiqadigan xulosalar.

**Tayanch so'z va iboralar: Taqsimot qonuni, Fermi-Dirak statistikasi, Boze-Eynshteyn statistikasi**

Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimoti qonunini eksperimental tekshirish uchun, biz SHtern tajribalarini bayon qilishda tanishgan, molekulyar dastalar metodidan foydalanilgan. SHu tajribaning o'zi ham uning detallarini bir oz o'zgartirilganda molekulalar tezliklari qiymatini beribgina qolmasdan, molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimoti qonunini aniqlashga xizmat qilishi ham mumkin. Agar atomlar kondensatsiyasi ro'y beradigan nishon uchun metall emas, shisha ishlatilsa, u holda siljigan polosaning turli qismlaridagi cho'kmaning shaffofligidan unga tushgan atomlar sonini, binobarin, ularning tezliklar bo'yicha taqsimlanishini ham bilish mumkin. SHternning o'zi bunday tajribani o'tkazgan, biroq u erishgan o'lchashlar aniqligi etarli bo'lмаган edi.

1947 yilda SHternning o'zi Isterman va Simison bilan birligida molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimotini tekshirish uchun birmuncha odatdan tashqarii va juda qiyin tajribada o'tkazdi, bu tajribada ham molekulyar dastalar metodidan foydalanildi. Bu tajribada dasta molekulalarining og'irlik kuchi maydonida erkin tushishi kuzatildi.

Atomlar manbai sifatida uncha katta bo'lmagan A pechda 450 K temperaturagacha qizdirilgan va erib bug'lanayotgan (tseziyning erish temperaturasi 301,65 K, yoki  $28,5^{\circ}\text{S}$ ) tseziydan foydalanildi. Pechdan tseziy atomlari kengligi 0,02 mm bo'lган  $S_1$  tor gorizontal tirqish orqali uchib chiqadi.  $S_1$  tirqishdan 1 m masofada xudi birinchi tirqish kengligidagi ikkinchi  $S_2$  tirqish joylashtirilgan. Yo'g'onligi ham 0,02 mm bo'lган ingichka volfram sim shaklidagi D nishon  $S_2$  tirqishdan 1 m masofada joylashtiriladi (sim rasm tekisligiga perpendikulyar). SHunday qilib, dastaning umumiy L uzunligi manbaidan nishongacha 2 m ga teng. Butun qurilma yuqori vakuumli tsilindrga joylashtirilgan.  $S_1$ ,  $S_2$  tirqishlar va D nishon bitta aniq gorizontal to'g'ri chiziq bo'ylab joylashtirilgan.

Nishonga tushayotgan atomlar soni quyidagicha sanaladi.

Sim-nishon orqali elektr tok o'tkazilib, shunday temperaturagacha qizdiriladiki, tseziyning nishonga tushayotgan atomlari ionlashib, musbat zaryadlangan ionlarga aylanadi. Bu ionlar shu ondayoq nishonni tark etib, simni o'rab turgan manfiy zaryadlangan tsilindrga tushadi, silindrda atomlarning o'tishlari uchun yoriqlar (tirqishlar) qilingan. Sim va tsilindr orasida ionlarning oqimidan iborat elektr toki o'tadi va bu tokni ma'lum kuchaytirishdan so'ng o'lehash mumkin (dasta atomlarni bunday qayd qilish metodi sirtqi ionizatsiya metodi deb ataladi. Bu metod asosan oson ionlanuvchi atomlar, masalan, ishqoriy metallar atomlari uchun qo'llaniladi). Tok kuchi ionlar soni orqali va binobarin, simga tushayotgan atomlar soni orqali bevosita aniqlanadi.

Dastadagi tseziy atomlari manbadan nishongacha bo'lган ikki metr yo'lda og'irlik kuchi ta'sirida pastga «og'adi» va ma'lumki, parabola bo'ylab harakatlanadi. SHuning uchun  $S_1$  tirqishni X o'q bo'ylab gorizontal tezlik bilan tark etgan atomlar  $S_2$  tirqish orqali o'tmaydi va nishonga tushmaydi.  $S_2$  tirqishdan esa  $S_1$  tirqishdan ma'lum kichik  $\alpha$  burchak ostida chiqqan atomlargina o'tadi, bu rasmda tutash chiziq bilan ko'rsatilgan.

Bunday zarralar traektoriyasining har qanday nuqtasining  $x$  va  $u$  koordinatalari uchun quyidagi ma'lum tengliklarni yozish mumkin:

$$x = v_x t, \dots y = v_y t - \frac{gt^2}{2} \quad (56)$$

Bu ikki tenglamadan vaqtini yo'qotsak, shunday tenglik olamiz:

$$y = v_y \frac{x}{v_x} - \frac{gx^2}{2v_x}$$

Bu tenglama atomlar harakatlanadigan parabola tenglamasidir.

Atomlar trayektoriyasining  $S_2$  tirqish orqali o'tadigan nuqtasida u koordinata nolga teng,  $x$  koordinata esa  $\frac{L}{2}$  ga teng. Bu nuqta uchun (56) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$v_y \frac{L}{2v_x} - \frac{gL^2}{8v_x^2} = 0.$$

Undan  $v_y$  kattalik uchun shunday ifodani hosil qilamiz:

$$v_y = \frac{gL}{4v_x}$$

Bizni u kattalik, ya'ni atomlarning manbadan  $x=L$  masofada X o'qdan siljishi qiziqtiradi. (56) formulaga x o'rniga L va  $v_y$  o'rniga  $\frac{gL}{4v_x}$  kattaliklarni qo'yib,

$$U = -\frac{gL}{4v_x^2}$$

ni topamiz.

SHunday qilib, atomlarni vertikal bo'yicha siljishi faqat  $v_x$  ning qiymati bilan aniqlanadi va  $\alpha$  burchakning kichik qiymatlarida atomlar tezligining  $v$  qiymatiga juda yaqin bo'ladi (chunki  $v_x = v \cos \alpha$  va kichik burchaklarda  $\cos \alpha$  birga yaqin). Sim-nishonni vertikal bo'ylab siljитib hamda turli balandliklarda ion toki (nishonga tushgan atomlar soni)ni o'lchab, turli tezlikka ega bo'lgan atomlar soni topiladi, bu atomlarning tezliklar bo'yicha taqsimotini beradi. SHuni nazarda tutish kerakki, simga u yoki bu balandlikda tushayotgan atomlar sonini o'lchab, atomlarning tezliklari biror tezliklar *intervalida* yotgan soni aniqlanadi, chunki sim qancha ingichka bo'lmasin har holda chekli va unga tezliklari aynan teng emas, balki bir-biriga yaqin bo'lgan atomlar tushadi.

Bu tajribani o'tkazishning qiyinligi shundaki, eng sekin atomlar ham hammasi bo'lib 0,2 mm ga yaqin balandlikka siljiydi (SHtern – Isterman – Simpson tajribasida eng katta ehtimolli tezlikli atomlar 0,174 mm ga siljigan). Biroq S<sub>1</sub> va S<sub>2</sub> tirqishlarning kengligi va sim-nishonning qalinligi bor-yo'g'i 0,02 mm (dastaning yo'g'onligi ham shunday!) bo'lgani uchun o'lchashlar har holda etarlicha katta aniqlikda o'tkazilgan edi. Bu tajriba faqat tseziy atomlari bilangina emas, tushish balandligi yana ham kichik bo'lgan natriy atomlari dastasi bilan ham etarlicha aniq o'tkazilgan. O'lchashlar molekulalarning tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimoti qonunini to'la-to'kis tasdiqladi.

Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn taqsimotlarini keltirib chiqarishga o'tamiz. Biz o'zgarmas hajmlı qattiq, gaz o'tmaydigan adiabatik devorli idishga solingan, fermionlar va bozonlardan iborat ideal gazni nazarda tutamiz. Avval gazning makroholatini qanday harakterlash kerakligini hal qilish kerak. Bu maqsadda zarraning barcha kvant holatlarini yupqa energetik qatlamlarga ajratamiz. Har bir qatlam zarra energiyasining birday yoki juda yaqin qiymatlariga ega bo'lgan kvant holatlardan iborat bo'ladi. x — qatlamdagи kvant holatlarining enyergiyasi ( $\epsilon_i$ ,  $\epsilon_i$ ,  $+\delta\epsilon_i$ ) intyerval orasida bo'ladi.  $\delta\epsilon_i$ , qatamlarning kengligini aniq qayd qilishning

zarurati yo'q.  $\delta\varepsilon_i \ll \varepsilon_i$ , ( $\delta\varepsilon_i$  shartning bajarilishini talab qilishning o'zi yetarlidir. Bundan tashqari, energetik qatlamdag'i kvant holatlarining soni  $Z_i$  katta bo'lisi kerak. Gazning makroholoti har bir energetik qatlamdag'i  $N_i$  zarralar sonini berish bilan xarakterlanadi. Zarralarning qatlamda har qanday o'r'in almashinishi va mikrova makroholatini o'zgartirmaydi.

### Boze-Eynshteyn va Fermi-Dirak taqsimotlari

Zarralarning kvant xususiyati bo'lgan aynan o'xshashlik prinsipini hisobga olgan holda ularning kvant holatlar bo'yicha taqsimot funksiyasini hisoblaymiz. Boze-Eynshteyn va Fermi-Dirak taqsimotlarini aynan bir xil zarralar (elektron, fonon, foton va shu kabilar) to'plamidan tashkil topgan ideal gaz uchun keltirib chiqaramiz va bu taqsimotlar xususiyatlarini tekshiramiz.

Taqsimot funksiyasini hisoblash uchun zarralar soni o'zgaruvchi bo'lgan tizim (ochiq tizim)ga Gibbsning katta kanonik taqsimotini tadbiq etamiz. Buning uchun zarralarning aynan o'xshashlik prinsipini hisobga olgan holda taqsimot funksiyasida zarralarning o'r'in almashtirishini hisobga oluvchi  $\left(\frac{1}{N!}\right)$  ko'paytuvchisi bo'lmaydi.

Demak, kvant statistikasi uchun energetik tasvirda katta kanonik taqsimotni

$$w_{N_i} = e^{\frac{\Omega + N\mu - E_{N_i}}{\theta}} \quad (4.1)$$

ko'rinishda olishimiz mumkin.

$w_{N_i}$  - bu  $E_{N_i}$  energiyali  $i$ -nchi kvant holatda  $N$ -ta zarrali tizimning bo'lish ehtimoliyati zichligi.

Bizni  $n_k$  ta zarraning ( $n_k < N$ ) E energiyaga ega bo'lgan  $k$  kvant holatda bo'lish ehtimolligi qiziqtiradi. O'zaro ta'sirga ega bo'lmagan zarralar to'plamidan tashkil topgan tizimning to'la zarralar

soni va energiyasi undagi kvant holatlarga to‘g‘ri keluvchi zarralar soni va energiyasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$N = \sum_k n_k \quad (4.2)$$

$$E_{N_i} = \sum_k n_k \cdot e_k \quad (4.3)$$

(4.2) va (4.3) ifodalarda yig‘indi zarralarning barcha kvant holatlari bo‘yicha olingan. Har bir kvant holat uning to‘rtta kvant soni – bosh kvant son, orbital kvant son, magnit kvant son va spin kvant sonlarining berilishi bilan to‘la tavsiflanadi.

So‘nggi (4.2) va (4.3) ifodalarni hisobga olgan holda  $i$ -chi kvant holatiga to‘g‘ri keluvchi zarralar soni quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\bar{n}_i = \sum_i n_i w_{N_i} = \sum_n n_i e^{\frac{\Omega + \sum_k (\mu - e_k) n_k}{\theta}} \quad (4.4)$$

Tizim holati  $n$ , butun sonlar orqali aniqlanadi. Shuning uchun kvant holatlari bo‘yicha olingan yig‘indi barcha  $n_i$  lar bo‘yicha olingan yig‘indi bilan almashtirish mumkinligini (4.4) da hisobga oldik. Yoki (4.4) ni

$$\bar{n}_i = \sum_n n_i e^{\frac{(\mu - e_i)n_i}{\theta}} \sum_{k \neq i} e^{\frac{\Omega + \sum_l (\mu - e_l) n_l}{\theta}} \quad (4.4a)$$

ko‘rinishida ham yozish mumkin.

Ma’lumki, katta kanonik taqsimotning normallashtirish sharti

$$\sum_n w_{N_i} = \sum_n e^{\frac{\Omega + \sum_k (\mu - e_k) n_k}{\theta}} = 1 \quad (4.5)$$

edi. Bundan

$$\sum_{n_k=1} e^{\frac{\Omega + \sum_{k \neq i} (\mu - \varepsilon_k) n_k}{\theta}} = \left( \sum_{n_i} e^{\frac{(\mu - \varepsilon_i) n_i}{\theta}} \right)^{-1}$$

Hosil bo'lgan bu ifodani (4.4a) ga tadbiq etamiz. U holda  $i$ -kvant holatga to'g'ri keladigan o'rtacha zarralar soni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\overline{n}_i = \left( \sum_n n_i e^{\frac{(\mu - \varepsilon_i) n_i}{\theta}} \right) \left( \sum_n e^{\frac{(\mu - \varepsilon_i) n_i}{\theta}} \right)^{-1} = \theta \frac{\partial}{\partial \mu} \ln \left( \sum_n e^{\frac{(\mu - \varepsilon_i) n_i}{\theta}} \right) \quad (4.6)$$

Taqsimot funksiyasining ( $\overline{n}_i = w(\varepsilon_i)$ ) natijaviy ko'rinishini hosil qilish uchun (4.6)-ifodasidagi yig'indilarni hisoblash lozim. Bu yig'indini hisoblashda zarralarning ikki turini bir-biridan farq qilish lozim. Elementar zarralarning bir turi Pauli prinsipiiga bo'ysunadi. Ikkinchisi esa bu prinsipiiga bo'ysunmaydi. Pauli prinsipiiga binoan bir kvant holatda spini butun bo'lmasligi faqat bitta elementar zarra joylashishi mumkin (elektron,  $\mu$ -mezon, nuklon). Bunday zarralar to'plami antisimetrik to'lqin funksiyasi bilan ifodalanishini biz yuqorida ko'rib o'tgan edik. Shuning uchun yig'indini olish qoidasiga qarab biz yuqorida ikki xil taqsimotni hosil qilamiz. Bu esa aynan o'xshash bo'lgan zarralar to'plamining makroskopik xususiyatlari turlicha bo'lishini ko'rsatadi. Demak, hisoblashning aynan shu qismida Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn taqsimotlarining farqi namoyon bo'ladi.

Fermi-Dirak statistikasida belgilangan  $i$ -nchi kvant holatida yo bitta zarra bo'ladi yoki umuman zarra bo'lmasligi va  $n_i$  ning qiymati nolga yoki birga teng bo'ladi. Shuning uchun fermionlardan tashkil topgan tizimlarda

$$\sum_{n_i=0}^1 e^{\frac{(\mu - \varepsilon_i) n_i}{\theta}} = 1 + e^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{\theta}}$$

bo'ladi. Bu ifodani (4.6) ga tadbiq etib, quyidagi ko'rinishdagi Fermi-Dirak taqsimotini hosil qilamiz:

$$\bar{n}_i = w_\phi(\varepsilon_i) = \theta \frac{\partial}{\partial \mu} \left[ \ln \left( 1 + e^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{\theta}} \right) \right] = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\theta}} + 1} \quad (4.7)$$

Boze-Eynshteyn statistikasiga tegishli bo'lgan hol uchun esa (4.6) dagi yig'indini hisoblash sal murakkabroqdir. Bu holda har bir kvant holatda ixtiyoriy sondagi zarralar bo'lishi mumkin, ya'ni  $n_i=0,1,2,3,\dots,N$ . Biz  $N$ -ni  $\infty$ -lik bilan almashtiramiz, chunki barcha zarralarni bir kvant holatda bo'lish ehtimolligi nihoyatda kichik. Bu holda (4.6) dagi yig'indi quyidagi formula orqali hisoblanadi. Agar  $x < 1$  bo'lsa, quyidagi yig'indi cheksiz kamayib boruvchi geometrik proqressiyani tashkil etadi va

$$\sum_{j=0}^{\infty} x^{(j)} = \frac{1}{1-x} \quad (4.8)$$

bo'ladı.

Bizning holimizda  $x = e^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{\theta}}$ . Bunga asosan (4.6) dagi yig'indi energiyaning ixtiyoriy qiymatida, va hatto  $\varepsilon_i = 0$  bo'lganda ham yaqinlashuvchi xarakterga ega bo'lganligi uchun (4.8) tenglikdan foydalanishimiz mumkin, agar

$$e^{\frac{\mu}{\theta}} < 0, \quad \text{ya'ni } \mu < 0 \quad (4.9)$$

bo'lsa. Natijada (4.9) ni hisobga olgan holda (4.8) ni (4.6) ga tadbiq etib, Boze-Eynshteyn taqsimoti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\bar{n}_i = w_\phi(\varepsilon_i) = -\theta \frac{\partial}{\partial \mu} \left[ \ln \left( 1 - e^{\frac{\mu - \varepsilon_i}{\theta}} \right) \right] = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\theta}} - 1} \quad (4.10)$$

Shunday qilib, kvant xarakterga ega bo'lgan ideal gaz uchun taqsimot funksiyalari

$$w(\varepsilon_i) = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\theta}} \pm 1} \quad (4.11)$$

Bu yerda «+» ishora Fermi-Dirak va «-» ishorasi esa Boze-Eynshteyn taqsimotlariga ta'lluqlidir.

### Mustahkamlash uchun savollar.

1. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish deganda nimani tushunasiz?
2. Fermi-Dirak statistikasini tushuntiring?
3. Boze-Eynshteyn statistikasini tushuntiring?
4. Fermi-Dirak statistikasi va Boze-Eynshteyn statistikasining farqli jihatlari nimada?

5. Fermi-dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi qonuniyatlarga bo'y so'nuvchi zarralarni ayting?.

## 12-Mavzu: Ideal gazning ichki energiyasi. Issiqlik miqdori.

### Termodinamikaning 1- qonuni.

Reja:

1. Ideal gazning ichki energiyasi.
2. Issiqlik miqdori.
3. Termodinamikaning 1- qonuni.

Tayanch so'z va iboralar: Ideal gaz, ichki energiyasi, issiqlik miqdori, termodinamikaning 1- qonuni.

*Bu mavzuda talabalarga ichki energiya va uni o'zlashtirish usullari, ideal gazning ichki energiyasi, termodinamikaning birinchi qonuni, ideal gazning issiqlik sig'imi haqida tushuncha va ma'lumotlar beriladi.*

*Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:*

- 1) Ichki energiya nima?
- 2) Ichki energiyani o'zlashtirish usullarini aytib bering.
- 3) Termodinamikaning I qonuni nimani ifodalaydi?
- 4) Mayer tenglamasining mazmuni nimadan iborat?
- 5) Gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi qanday hisoblanadi?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [4], [5], [6].

### Ideal gazning ichki energiyasi

Agar ideal gaz zarralarini nuqta deb hisoblasak, idkal gaz molekulاسining o'rtacha energiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\frac{\overline{mv^2}}{2} = \frac{3}{2} rT .$$

Bu ifodaning faqat ilgarilanma harakat qila oluvchi molekulalar – nuqtalar uchun o'rini ekanligini yana bir marta ta'kidlab o'tish kerak. Gazlar to'g'risida bunday tasavvur faqat bir atomli gazlar uchun o'rini deb hisoblanishi mumkin. Agar gaz molekulasiда bir emas, undan ko'p atomlar bo'lsa, bu molekula boshqa harakatlar – aylanma, tebranma harakat qilishi mumkin va bu harakatlar bilan ham biror energiya bog'langan bo'ladi.

Biroq hozircha faqat bir atomli gazlar bilan cheklanamiz va berilgan gaz massasining barcha molekulalari uchun energiya ifodasini yozamiz. Agar gazda N ta molekula bo'lsa, u holda uning umumiyligi energiyasi U quyidagiga teng bo'ladi:

$$U = \frac{3}{2} NrT \quad (62)$$

Bir mol uchun bu ifoda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$U = \frac{3}{2} N_0 r T = \frac{3}{2} r T \quad (63)$$

Bu energiya ideal gazning ichki energiyasi deb ataladi.

Umuman, jismning ichki energiyasi deb esa molekulalarning o'ziga tegishli bo'lган to'la energiyaga, ya'ni ularning «ko'rinnmaydigan» energiyasiga aytildi. Bunga molekulalarning o'zining harakatlanish kinetik energiyasi, molekula ichidagi atomlarning (molekula bir atomli bo'lмаганда) harakatlanish kinetik energiyasi, molekula ichidagi atomlar orasidagi o'zaro ta'sir potentsial energiyasi va hatto atomlar tarkibiga kiruvchi zarralar (yadrolar va elektronlar)ning kinetik energiyasi ham kiradi. Biroq bu energiyaga agar gaz butunicha harakatlanayotgan bo'lsa, uning ega bo'lishi mumkin bo'lган kinetik energiyasi va agar gaz butunicha biror kuch maydonida bo'lsa, ega bo'lishi mumkin bo'lган potentsial energiyasi kirmaydi.

Berilgan massali ideal gazning ichki energiyasi (62) va (63) formulalardan ko'rinish turganidek, faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi va bosimga ham, hajmga ham bog'liq bo'lmaydi. (Real gazlar uchun bu noto'g'ri).

Keltirilgan formulalardan gazning temperaturasini o'zgartirish uchun uning ichki energiyasini o'zgartirish kerak ekanligi ko'rinish turibdi. Energiyaning o'zgarishi esa ish bilan bog'liq bo'lishi mexanikadan ma'lum: agar jism ish bajarса yoki jism ustida ish bajarilsa, uning energiyasi o'zgaradi va energiyaning o'zgarishi bajarilgan ishga teng bo'ladi.

Bundan gaz temperaturasining, umuman, biror jism temperaturasining o'zgarishi faqat mexanikaviy ish hisobigagina bo'lishi mumkindek tuyuladi: jismni qizdirish uchun uning ustida ish bajarish kerak, jismni sovitish uchun esa jism ish bajara oladigan sharoitni yaratish kerak. Tajribaning ko'rsatishicha, jismning temperurasini haqiqatan ham tegishli mexanikaviy ish bajarish yo'li bilan o'zgartirish mumkin ekan. Masalan, jismlarni bir-biriga ishqalanganda ular qiziydi (olov chiqarishning eng qadimgi usuli shunga asoslangan). Gaz ham ish bajarish hisobiga qizishi mumkin ekanini quyida ko'rsatamiz.

### **Issiqlik miqdori**

Biroq, ma'lumki, har qanday boshqa jism kabi gazni ham har xil usul bilan qizdirish yoki sovitish mumkin, yuzaki qaraganda bunda ish hech qanday rol aynamaydiganday ko'rindi. Bu usul shundan iboratki, jism o'zining xususiy temperurasidan boshqa temperaturaga ega bo'lган biror jismga tegiziladi. Jismlarni bevosita tegizmasdan, ular orasida biror boshqa muhit, hatto bo'shliq bo'lгanda ham shunday natija olish mumkin. Birinchi holda jismlarning isishi yoki sovishi issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan, ikkinchi holda esa nurlanish yo'li bilan amalga oshadi deb gapiriladi.

Biroq (62) formuladan gaz temperurasining o'zgarishi hamma vaqt energiyaning o'zgarishi bilan bog'liq ekan kelib chiqadi. Bunday o'zgarish ish bajarish natijasida bo'lганда sababi ravshan, chunki ishning o'zi energiya o'zgarishidir. Binobarin,

«kontakt» usulida ham qandaydir yo'l bilan energiya berish (isishda) yoki energiya olish (sovishda) ro'y beradi.

«Kontakt» usulida energiya berish mexanizmi shundan iboratki, bir-biriga tegayotgan jismlarning zarralari o'zaro to'qnashuvlarda energiya almashinadi, kuchliroq qizigan jismning zarralari energiya oladi. Demak, bu holda energiyaning ish bajarish hisobiga o'zgarishi o'rniga xudi shu natijaning o'zi bir jismning xaotik harakatlanayotgan zarralarining boshqa jism zarralariga energiya uzatishi bilan hosil bo'ladi.

Biroq fizikaning taraqQiyot tarixi bilan bog'liq bo'lgan sabablarga ko'ra jism temperaturasining o'zgarishi (isish yoki sovishda) «kontakt» yo'li bilan yoki nurlanish bilan amalga oshirilgan holda jismga biror issiqlik miqdori beriladi yoki undan biror *issiqlik miqdori* olinadi deb gapiriladi.

Demak, issiqlik miqdori bir jismning ikkinchi jismga bevosita (yoki uchinchi jism vositasida) tekkanida yoki nurlanishda uzatiladigan *energyadir*. Aslida issiqlik uzatishda ham ish bajariladi, biroq bu holda ishni makroskopik tartibli harakatlanayotgan jismlar emas, balki tartibsiz harakatlanuvchi mikrozarralar bajaradi. Bu holning g'oyat muhim rol o'ynashini biz quyida ko'ramiz.

### **Issiqlikning mexanikaviy ekvivalenti**

Issiqlik bilan ish (energiya) orasida hech qanday farq yo'q. SHuning uchun bu kattaliklarning har ikkalasi ham bir xil birliklarda o'lchanishi kerak. SI sistemasida issiqlik SMIQdori uchun 1 joul (J) qabul qilingan. Biroq tarixiy sabablarga ko'ra issiqlik miqdori oxirgi vaqtlargacha ham kaloriya va kilokaloriyalarda o'lchab kelindi. Issiqlik miqdori uchun maxsus birlik issiqlik xudi biror suyuqlika o'xshab bir jismdan ikkinchi jismga oqishi mumkin bo'lgan qandaydir alohida modda deb qaraladigan eski vaqlarda, kinetik nazariya yaratilmasdan ilgari kiritilgan edi. Biroq energiya va issiqlikning ekvivalentligi aniq bo'lgan hozirgi gvaqtida bu birlik o'zining fizikaviy ma'nosini yo'tdi, faqat an'ana bo'yicha fizika va texnikada ishlatib kelinadi.

Kilokaloriya bir kilogramm svuni atmosfera bosimida bir kelvinga isitish (yoki sovitish) uchun beriladigan yoki olinadigan issiqlik miqdori sifatida ta'riflanadi.

Issiqlik va energiyaning ekvivalentligi o'tgan asrning 50-yillaridayoQ J. JoulningQunt bilan olib borgan qator tajribalarida ravshan namoyish qilindi, bu tajribalar bir kilokaloriya issiqlikning isitishi tamomila aniq va hamma vaqt ham Ayni bir ishning isitishi bilan birday ekanligini ko'rsatdi. Ma'lum bo'lishicha,

$$1 \text{ kal} = 4186,8 \text{ J.}$$

Kilokaloriyadan 1000 marta kichik, ya'ni gramm-kaloriya yoki oddiygina qilib kaloriya deb ataladigan birlikdan ham foydalilaniladi (kal):

$$1 \text{ kal} = 4,1868 \text{ J.}$$

Mexanikaviy ish birligining issiqlik birligiga nisbatini ko'rsatuvchi son *issiqlikning mexanikaviy ekvivalenti* deb ataladi:

$$I = 4186,8 \text{ J/kkal} = 4,1868 \text{ J/kal.}$$

Bu kattalikka teskari kattalik *mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti* deb ataladi:

$$\Gamma = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ kkal/J} = 0,239 \text{ kal/J.}$$

Keyingi bayonimizda biz bu ekvivalentlardan foydalanmaymiz. Ayni bir tenglamada issiqlik miqdori ham, ish yoki energiya ham bo'lgan hollarda biz ularni ayni bir birliklarda (kaloriyalardami yoki joullandam, barii bir) o'lchanadi deb hisoblaymiz.

### **Termodynamikaning birinchi bosh qonuni**

Har qanday jismning yoki jismlar sistemasining holati o'zgarishi, umuman aytganda, bu sistemaning ish bajarishi bilan yoki tashqi kuchlarning bu sistema ustida ish bajarishi bilan bo'ladi. Bu ishni shu sistemani xarakterlovchi parametrlar orqali ifodalash mumkin.

Agar jismning holati yuqorida ko'rganimizdek  $r$ ,  $V$  va  $T$  dan iborat uch parametrning ikkitasi bilan aniqlansa, umumiy holda bu parametrlarning ixtiyoriy birining o'zgarishida tashqi ish bajarilishi kerak.

Masalan, gaz temperaturasining o'zgarishi, ya'ni uning isishi yoki sovishi tashqaridan bajarilgan ish hisobiga (isitish) yoki tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan mexanikaviy ish (sovitish) hisobiga bo'lishi mumkin.

Bunday mexanikaviy ish gazni tashqi kuch ta'sirida siqishda, bunda gaz isiydi yoki gaz kengayayotganda sovishi tufayli bajariladi. Gazning hajmini uning temperaturasini o'zgartirmasdan turib ham o'zgartirish mumkin (Quyida ko'ramiz), u holda mos ravishda kamroq ish talab qilinadi.

Biroq yuqorida ko'rsatib o'tganimizdek, gazning (yoki boshqa jismlarning) holatini unga biror miqdorda issiqlik beri byoki undan *biror miqdorda issiqlik* olib, ya'ni uni issiqroq yoki undan sovuqroq jismga «tegizib» o'zgartirish ham mumkin.

Holatni bunday o'zgartirish usulida qanday ish bajariladiq Bu savolga *energiyaning saqlanish qonuni* javob beradi. Agar gazga (yoki boshqa jismga) biror  $dQ$  issiqlik miqdori berilgan bo'lsa, bunda umuman aytganda,  $dA$  ish bajariladi va uning *ichki energiyasi*  $dU$  ga o'zgaradi.

Energiyaning saqlanish qonuni shunday ifodalanadi: *sistemaning bajagan ishi sistemaga berilgan issiqlik miqdori bilan uning ichki energiyasining o'zgarishi orasidagi farq*  $Q_a$  teng:

$$dA = dQ - dU,$$

yoki

$$dQ = dU + dA. \quad (64)$$

Bu tenglama tabiatning muhim qonunini, mexanikaviy va issiqlik energiyaga nisbatan energiyaning saqlanish qonunini bildiradi. *Bu qonun termodinamikaning birinchi bosh qonuni* deyiladi.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni ayting?
2. Energiyaning saqlanish qonunini izohlang?
3. Mexanikaviy va issiqlik energiya deganda nimani tushunasiz?
4. Mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti nima?
5. Ideal gazning ichki energiyasini qanday aniqlanadi?
6. Issiqlik miqdori nima?

### 13-mavzu: Ideal gazlarning issiqlik sig'imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi.

Reja:

1. Issig'lik sig'imi to'g'risida tushuncha.
2. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi.
3. Bir atomli gazlar haqida ma'lumot.
4. Bir atomli gazlarning issiqlik sigimi.

Tayanch so'z va iboralar:

**Issiqlik sig'imi, Bir atomli gaz, molekulalarning erkinlik darajasi, Teng taqsimot qonuni, Ikki va ko'p atomli gazlar.**

Avvalgi paragrafda bir atomli gazning issiqlik sig'imini o'r ganayotganimizda molekulaning bir erkinlik darajasiga to'g'ri keluvchi o'rtacha kinetik energiyasi  $kT/2$  ga teng ekanini aytib o'tgan edik. Agar molekulaning yana qandaydir erkinlik darajalari bo'lganida edi, ularning har biriga  $kT/2$  kinetik energiya to'g'ri kelgan bo'lar edi.

Haqiqatan ham, klassik statistik fizikada (ya'ni kvant fizikasidan boshqa fizikada) bunday teorema (Bolsman teoremasi) isbot qilinadi. Bu teoremani shunday ta'riflash mumkin: *agar molekulalar sistemasi  $T$  temperaturada issiqlik muvozanatida bo'lsa, u holda o'rtacha kinetik energiya barcha erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanadi va molekulaning har bir erkinlik darajasi uchun bu energiya  $kT/2$  ga teng bo'ladi.*

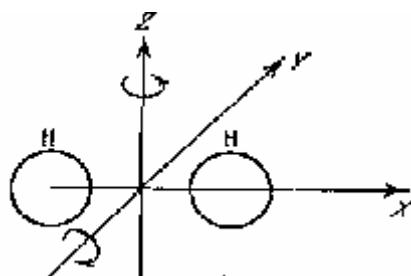
(Bu qonun yana shunday ta'riflanishi ham mumkin: agar sistema energiyasining biror tashkil etuvchisi koordinata kvadratiga yoki tezlik komponenti kvadratiga proprotsional bo'lsa, u holda  $T$  temperaturada sistemaning issiqlik muvozanati holatida bu qism energiyaning o'rtacha qiymati  $kT/2$  ga teng.)

Bu teorema kinetik energyaning erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanish qonuni yoki qisqacha, *teng taqsimot qonuni* deb ataladi.

Bu qonun yuqorida qo'yilgan masalaga javob berishga imkon beradi.

O'zlarining ichki energiyalari jihatidan ikki va ko'p atomli gazlar bir atomli gazlardan o'z molekulalarining erkinlik darajalari soni bilan farq qiladi. Binobarin, gazning ichki energiyasini va demak, issiqlik sig'imini hisoblash uchun gaz molekulalarining erkinlik darajalari sonini aniqlay bilish kerak. Dastlab eng sodda hol — ikki atomli molekulani ko'raylik. Bun-day molekulani bir-biridan ma'lum masofada joylashgan ikki atomdan tuzilgan sistema deb qarash mumkin (1-rasm). Agar bu ikki atom orasidagi masofa o'zgarmasa (bunday molekulalarni biz qattiq molekulalar deb ataymiz), bunday sistemaning, umuman aytganda, oltita erkinlik darajasi bo'ladi.

Haqiqatan ham, bunday molekulaning vaziyati va konfiguratsiyasi uning massalar markazining uch koordinatasi (bu koordinatalar molekulaning butunicha ilgarilanma



1-rasm.

harakatini aniqlaydi) va molekulaning o'zaro perpendikulyar  $X$ ,  $U$ ,  $Z$  o'qlari yaqinida mumkin bo'lgan aylanishlarini xarakterlovchi uch koordinata bilan aniqlanadi.

Biroq tajriba va nazariya shuni ko'rsatadiki, molekulalar  $X$  o'q, ya'ni har ikkala atomning markazlari yotgan o'q yaqinida faqat juda yuqori temperaturalardagina aylanishi mumkin (1-rasm). Odatdagি temperaturalarda molekula, xuddi shuningdek, alohida atom ham,  $X$  o'qi yaqinida aylanmaydi. SHuning uchun biz tanlagan molekulaning mumkin bo'lgan aylanishlarini tavsif qilish uchun ikki koordinataning o'zi ham yetarlidir.

Binobarin, qattiq ikki atomli molekulaning erkinlik darajalari soni 5 ga teng, ulardan uchtasi ilgarilanma (odatda shunday deyiladi), ikkitasi aylanma erkinlik darajalaridir.

Biroq molekuladagi atomlar hamma vaqt ham bir-birlari bilan qattiq bog'langan bo'lavermaydi; ular bir-biriga nisbatan tebranma harakat qilishi mumkin. Bunda, ravshanki, molekulaning konfiguratsiyasini aniqlash uchun yana bitta koordinata kerak bo'ladi, bu atomlar orasidagi masofadir.

Demak, umumiy holda ikki atomli molekula *olti* erkinlik darajasiga: uchta ilgarilanma, ikkita aylaima va bitta tebranma erkinlik darajasiga ega.

Agar molekula qattiq bog'lanmagan  $p$  ta atomdan iborat bo'lsa, bu molekula  $3 p$  ta erkinlik darajasiga ega bo'ladi (har bir atomning uchtadan erkinlik darjasini bor). Bu erkinlik darajalari sonidan uchtasi ilgarilanma va uchtasi aylanma erkinlik darajalari bo'ladi. Atomlar bir to'g'ri chiziq bo'ylab joylashgan bo'lsa, aylanma erkinlik darajalari ikkita, ya'ni xuddi ikki atomli molekulani singari bo'ladi.

Misol uchun 2-rasmida uch atomli molekulaning modeli keltirilgan va molekula burchak tezligining vektori joylashishi mumkin bo'lgan  $X$ ,  $U$ ,  $Z$  o'qlar ko'rsatilgan. SHunday qilib, bir to'g'ri chiziqdagi joylashmagan  $n$ -atomli molekula umumiy  $3n-6$  tebranma erkinlik darajalariga hamda bir to'g'ri chiziqdl joylashuvchi  $p$ -atomli molekula  $3n-5$  erkinlik darajalariga ega bo'lar ekan.

Ko'p hollarda atomlarning tebranma harakatlari mutlaqo uyg'onmaydi. Biroq agar molekulada atomlar tebranayotgan bo'lsa va tebranish amplitudalari (ular orasidagi masofaga nisbatan) kichik bo'lsa, u holda bunday tebranishlarni garmonik tebranishlar deyish mumkin; bu holda atomlar garmonik ostsillyatorlar bo'ladi.

Biroq ostsillyatorning faqat kinetik energiyagagina emas, balki potentsial energiyaga ham ega bo'ladi (potentsial energiya atomni muvozanat holatiga qaytaruvchi kuchlar tomonida hosil qilinadi). Mexanikadan ma'lumki, *garmonik* ostsillyator uchun kinetik va potentsial energiyaning o'rtacha qiymatlari o'zaro teng. Binobarin, agar molekulada *garmonik* tebranishlar yuzaga kelgan bo'lsa, u holda teng taqsimot qonuniga ko'ra, har bir tebranish erkinlik darjasini uchun  $kT/2$  kinetik energiya va  $kT/2$  potentsial energiya to'g'ri keladi. Angarmonik (*garmonik* bo'lмаган) tebranishlar uchun bu o'rinni emas. Boshqacha aytganda: har *tebranish* erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan energiya  $\frac{1}{2}kT$  ga emas, balki  $2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT$

ga teng.

Ana endi ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imini hisoblash qiyin emas.

Agar gaz molekulasining erkinlik darajalari soni  $i$  ga teng bo'lsa, u holda uning o'rtacha kinetik energiyasi

$$i \frac{kT}{2}$$

ga, bunday gaz bir molining ichki energiyasi esa

$$U = \frac{i}{2} RT \quad (57)$$

ga teng. SHunga mos holda gazning molyar issiqlik sig'implari

$$C_v = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R \quad (58)$$

va

$$C_p = C_v + R = \left( \frac{i}{2} + 1 \right) R \quad (59)$$

Erkinlik darajalari soni  $i$  ni hisoblashda tebranish darajalarini ikki karra orttirish kerak. Agar erkinlik darajalari soni  $i$  ga birmuncha boshqacharoq ta'rif berilsa, bunday qilmasa ham bo'ladi, unda bu ta'rif shunday to'lishi kerak: *erkinlik darajalari soni sistema energiyasini aniqlovchi mustaqil kvadratik o'zgaruvchilar sonidir.*

Haqiqatan ham, molekulaning ilgarilanma va aylanma harakatlari kinetik energiyasi tezliklar (chiziqli va burchak tezliklari) komponentalarining (mustaqil) kvadratlari yig'indisiga proporsional bo'ladi.

Molekulaning ichida atomlarning, masalan,  $X$  o'qi bo'ylab tebranish energiyasiga kelsak, bu energiya tezlikning kvadrati  $\left( \frac{dx}{dt} \right)^2$  ga proporsional bo'lgan kinetik

energiya hamda muvozanat holatiga nisbatan  $x$  siljish kvadrati  $x^2$  ga proporsional bo'lgan potentsial energiya yig'indisiga teng. SHunday qilib, erkinlik darajalari sonining yangi ta'rifiga ko'ra, atomning ayni shu o'q bo'ylab tebranma harakatiga ikki erkinlik darajasini berish mumkin va bunda (57) formula hech qanday izohsiz qo'llaniladi (teng taqsimot qonunining ikkinchi ta'rifi bilan taqqoslang);

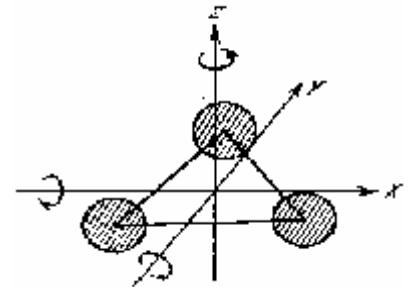
Molekulalarning erkinlik darajalari soni haqida aytilgan bu mulohazalar ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'implari haqida yuqorida keltirilgan eksperimental ma'lumotlarni tavsiflashga imkon beradi.

Masalan, vodorod, azot, kislороднинг va ba'zi boshqa ikki atomli gazlar issiqlik sig'imining yetarlicha aniqlik bilan  $\frac{5}{2}R$  ga teng ekanligi dalilidan bu gazlar

molekulalarining erkinlik darajalari soni 5 ga teng ekanligi kelib chiqadi. Bundan bu gaz molekulalari qattiq (tebranish erkinlik darajalari uyg'onmagan) degan xulosaga kelish mumkin. Ba'zi uch atomli gazlarga nisbatan ham shunday deyish mumkin.

Biroq bu yyerda eksperimental natijalar nazariy kutilganidan birmuncha boshqacharoq bo'ladi. (58) formuladan «qattiq» uch atomli molekulalarning kssiqlik

sig'imi  $C_v = \frac{6}{2}R = 3R$  ga teng bo'lishi kerak ekanligi kelib chiqadi. Holbuki, 6-



2-rasm.

birmuncha kattaroq (bu farq o'lchashdagi xatolarga bog'liq deb tushuntirib bo'lmaydi).

Xlor issiqlik sig'imining topilgan qiymatlarini ham bayon qilingan bu nazariya nuqtai nazaridan tushuntirib bo'lmaydi. 6- jadvalda keltirilgan xlor issiqlik sig'imining  $C_V = 3,02R$  ga teng bo'lgan qiymati xlor molekulasi uchun olti erkinlik darajasiga to'g'ri keladi. Biroq xloring molekulasi ikki atomli bo'lgani uchun agar uning ikki atomi o'zaro qattiq bog'langan bo'lsa, besh erkinlik darajasiga (u holda  $C_V = \frac{5}{2}R$ ), yoki agar atomlar molekula ichida tebrana olsa (erkinlik darajasi soni  $i$  ning ikkinchi ta'rifiga ko'ra) yetti erkinlik darajasiga ega bo'ladi (bu holda  $C_V = \frac{7}{2}R$ ).

Ko'rinish turibdiki, bu holda ham issiqlik sig'imi nazariyasi qanoatlanarli deb bo'lmaydi. Bunga sabab shuki, bizning nazariyamiz molekulaning teng taqsimot qonunini hamma vaqt ham qo'llab bo'lavermaydigan, molekuladagi ichki harakatlari bilan bog'liq bo'lgan energiyani yetarli darajada nazarga olishga qodir emas.

Nazariy natijalardan muhim chetlashish shundan iboratki, issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lib chiqmoqda, holbuki (58) tenglamaga muvofiq berilgan  $i$  qiymatli ayni shu gaz uchun issiqlik sig'imi o'zgarmas kattalik bo'lishi kerak. Tajriba temperatura pasayganda issiqlik sig'imining kamayishini ko'rsatadi.

Bunday bog'lanishni temperatura o'zgarganida molekulalarning "haqiqiy" (amaldagi) erkinlik darajalari soni o'zgaradi, ya'ni molekulalarning temperaturalarning bir sohasida mavjud bo'lgan qandaydir harakatlari boshqa sohasida to'xtar ekan deb tushuntirish mumkin. Biroq bunday deyilsa, temperatura o'zgarganida issiqlik sig'imi sakrash bilan o'zgarishi kerak bo'ladi. Chunki molekulaning u yoki bu harakati sodir bo'lishi ham mumkin, bo'lmasligi ham mumkin; harakat sodir bo'lganida unga  $kT/2$  energiya to'g'ri keladi, harakat bo'lmanan holda esa bu energiya va uning issiqlik sig'imiga qo'shadigan hissasi bo'lmaydi. Albatta, molekulaning harakati to'satdan to'xtamasligi yoki paydo bo'lmasligi, balki uning intensivligi asta-sekin o'zgarishi mumkin. Biroq teng taqsimot qonuni buni farq qilmaydi; har qanday erkinlik darajasiga ayni bir energiya to'g'ri keladi (Zommerfeld bu holni "erkinlik darajalari baholanmaydi, balki ular sanaladi", - deb to'g'ri ifodalagan edi). Holbuki, tajribaning ko'rsatishicha, issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligi silliq chiziqdan iborat, ya'ni issiqlik sig'imi asta-sekin o'zgaradi. Binobarin, energiyaning darajalari bo'yicha teng taqsimot qonuni tamomila to'g'ri deb hisoblanishi mumkin emas, uning qo'llanishi cheklangandir.

### Mustahkamlash uchun savollar.

1. Ideal gaz deganda nimani tushunasiz?
2. Bir atomli va ko'p atomli gazlar haqida ma'umot bering?
3. Issiqlik sig'imi tushuntiring?
4. Ideal gazlar uchun issiqlik sig'imi qanday aniqlanadi?

5. Bir atomli gazlarning issiqlik sig’imini aniqlash formulasini ayting?

**14-mavzu. Gazlarning issiqlik sig’imi. Gazlarning issiqlik sig’imi va molekulalarning erkinlik darajasi.**

**Reja:**

1. Issiqlik sig’imi haqida ma’lumot.
2. Gazlarning issiqlik sig’imi.
3. Molekulalarning erkinlik darajasi.

**Tayanch so’z va iboralar: Gazlarning issiqlik sig’imi, molekulalarning erkinlik darajasi, bir atomli va ko’p atomli gazlar, Issiqlik miqdori.**

## ***Issiqlik sig’imining klassik nazariyasi***

Issiqlik sig’imining klassik nazariyasi Bolsman va Maksvell tomonidan ishlab chiqilgan. Bu nazariya quyidagi gipotezaga asoslangan: *energiya-molekula harakatining erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanadi.*

*Moddiy nuqtaning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun zarur bo'lgan erkli koordinatalar soni nuqtaning erkinlik darajasi deyiladi va u i harfi bilan belgilanadi.*

Bir atomli ideal gaz molekulalarini moddiy nuqta deb qaraymiz. Klassik mexanika qonunlariga asoslansak, molekula ilgarilanma harakat energiyasi yuqorida quyidagicha ifodalangan edi:

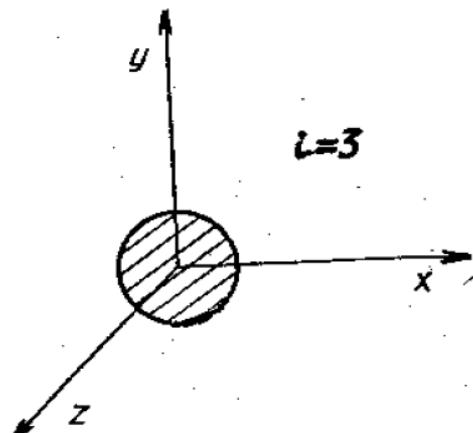
$$K = \frac{m v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (1)$$

Bunday molekulalar aylanma harakat energiyasiga ega emas, shuning uchun molekulalar to'qnashuvi natijasida harakat energiyasi uzatilmaydi. Moddiy nuqta deb qaralgan molekulaning inersiya momenti va aylanma harakati kinetik energiyasi

$$K_{ayl} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (2)$$

ni nolga teng deb qarsh mumkin. Shuning uchun Dekart koordinatalar sistemasida bir atomli gazlarning erkinlik darajasi uchga teng bo'lib (5-rasm), har bir erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan ilgarilanma harakatdagi molekula (atom) ning o'rtacha kinetik energiyasi o'zaro teng:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\overline{m v_x^2}}{2} = \frac{\overline{m v_y^2}}{2} = \frac{\overline{m v_z^2}}{2} = \frac{1}{2} kT \quad (3)$$



5-rasm.

Shunday qilib, Maksvell-Bolsman nazariyasiga asosan, ixtiyoriy gaz molekulalarining har bir erkinlik darajalariga to'gri keladigan energiya  $\frac{1}{2}kT$  ga teng ekan. Bir atomli ideal gaz massa markazining koordinatasi uchta bo'lGANI uchun uning erkinlik darajasi ham uchta ( $i=3$ ). U vaqtida bir atomli ideal gaz molekulasining o'rtacha energiyasi:

$$\overline{E} = \overline{i\varepsilon} = \frac{i}{2}kT = \frac{3}{2}kT \quad (4)$$

Unda bir mol ideal gazning ichki energiyasi

$$U_{\mu} = N_A \overline{E} = \frac{i}{2} N_A kT = \frac{1}{2} RT \quad (5)$$

bo'ladi. Bu yerda  $N_A$  – Avogadro soni.

(5) ga asosan o'zgarmas hajmda bir atomli ideal gazning molyar issiqlik sig'imi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_{\mu} = \frac{dU_{\mu}}{dT} = \frac{d\left(\frac{1}{2}RT\right)}{dT} = \frac{3}{2}R \quad (6)$$

Universal gaz doimiysi  $R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$  bo'lGANI uchun

$$C_{\mu_V} = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 12,45 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

R.Mayer tenglamasidan foydalanib, o'zgarmas bosimda bir atomli ideal gazning molyar issiqlik sig'imi hiosblaymiz, ya'ni

$$C_{\mu_P} = C_{\mu_V} + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R \quad (7)$$

$$C_{\mu_P} = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 20,75 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Ikki atomli molekulaning modelini, gimnastik gantel shaklida tasavvur etish mumkin, ya'ni ikkita moddiy nuqta bir-biri bilan mahkam bog'langan model (6-rasm).

Ikki atomli gaz molekulasining massa markazi 3 ta koordinata o'qlariga nisbatan 3 ta ilgarilanma harakat va uchta o'qdan ixtiyoriy ikkitasiga nisbatan (misolimizda Z va Y o'qlariga nisbatan) ikkita aylanma harakatdan iborat erkinlik darajasiga ega. Shuning uchun ikki atomli gaz molekulasining erkinlik darajasi beshga teng ( $i=5$ ).  $X$  o'qi bo'yicha ikki atomli molekulaning aylanma harakati bir atomli molekulaning aylanma harakatiga o'xshash, shuning uchun  $X$  o'qi bo'yicha aylanma harakat energiyasi nolga teng va  $X$  o'qi bo'yicha aylanma harakat erkinlik darajasi yo'q deb qaraladi.

Endi o'zgarmas hajmda va bosimda ikki atomli bir mol ideal gazning molyar issiqlik sig'imini hisoblaymiz:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{d\left(\frac{5}{2}RT\right)}{dT} = \frac{5}{2}R \quad (8)$$

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R \quad (9)$$

$$C_{\mu V} = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 20,75 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$C_{\mu P} = \frac{7}{2} \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 29 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Uch atomli molekulaning modeli 7-rasmida ko'rsatilgan. Uch atomli gaz molekulasi, 3 ta koordinata o'qlariga nisbatan uchta ilgarilanma harakat va uchta aylanma harakat erkinlik darajalariga ega. Shuning uchun bu molekulaning erkinlik darajasi  $i=6$ .

Uch atomli bir mol ideal gazning issiqlik si'gimini aniqlaymiz ( $V=const$ ,  $P=const$ ), ya'ni:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{d\left(\frac{6}{2}RT\right)}{dT} = 3R \quad (10)$$

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = 3R + R = 4R \quad (11)$$

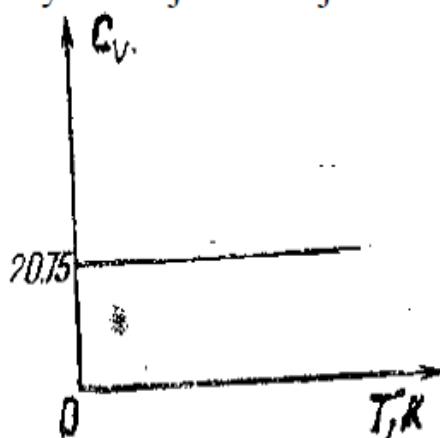
$$C_{\mu V} = 3 \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 24,93 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$C_{\mu P} = 4 \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 33,24 \frac{J}{mol \cdot K}$$

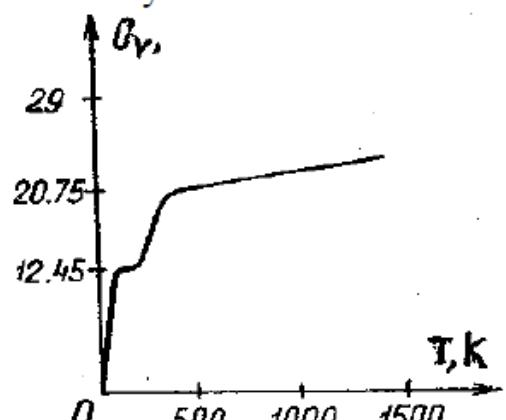
Shunday qilib, issiqlik sig'imining klassik nazariyasiga asosan hisoblab, uni tajribada olingan natijalarga taqqoslaganda faqat sodda gazlar uchun (bir, ikki va uch atomli molekulalardan iborat bo'lganda) xona haroratida mos kelar ekan.

Issiqlik sig'imining klassik nazariyasiga asosan, gazning issiqlik si'gimi haroratga bog'liq emas (8-rasm). Lekin tajriba natijalari, gazning

issiqlik si'gimining haroratga bog'liqligini ko'rsatadi (9-rasm). Demak, nazariya va tajriba natijalari bir-biriga mos kelmaydi.



8-rasm.



9-rasm.

Ko'p atomli molekulalar uchun ham issiqlik sig'imining klassik nazariyasi tajriba natijalariga to'gri kelmas ekan. Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, issiqlik si'gimining klassik nazariyasi bilan tajriba natijalari to'gri kelmaganligi uchun, bu nazariya asosida yotgan, molekula harakatining erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning teng taqsimlanish qonuni noto'g'ri ekanligidan dalolat beradi.

### *Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi*

Issiqlik sig'imining klassik nazariyasini gazlar uchun past va yuqori haroratlarda qo'llab bo'lmaydi. Klassik nazariyada molekulalarning xususiy tebranishlari hisobga olinmagan. Kvant nazariyasida molekulalarni tebranish chastotasiga ega bo'lgan **garmonik ossillyatorlar** deb qaraladi. Klassik nazariyaga asosan ossillyator energiyasi uzlucksiz qiymatga olishi mumkin.

M.Plank va A.Eynshteyn asos solgan kvant nazariyasi yordamida issiqlik si'gimi tog'ri tushuntirish mumkin.

Issiqlik si'gimining kvant nazariyasiga asosan ossillyator energiyasi qator uzlukli qiymatlar olishi mumkin bo'lib, u ossiliyatorning tebranish chastotasiga to'gri mutanosib:

$$\varepsilon = h\nu \quad (1)$$

bu yerda  $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  - **Plank doimiysi**.

Molekulalarning (ossillyator) tebranish chastotasi turlicha bo'lganligi uchun uning energiyasi ham har xil bo'ladi. Plank g'oyasiga asosalanib Eynshteyn ossillyatorning o'rtacha energiyasini quyidagicha ifodalaydi:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2)$$

Bundan ko'rindiki, molekulaning (ossillyator) tebranma harakatda erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan energiya haroratga va chastotaga bogliq ekan.

Tebranish chastotasi oshishi bilan ossillyator energiyasi kamayib boradi.

Past haroratlarda  $\frac{h\nu}{kT} \gg 1$  bo'lib, ossillyator energiyasi nolga intiladi ( $\bar{\varepsilon} = 0$ ). Juda yuqori haroratlarda  $h\nu \ll kT$  bo'lsa,  $e^{\frac{h\nu}{kT}}$  ni qatorga yozsak,

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT} + \frac{1}{2!} \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 + \dots \quad (3)$$

(3) da  $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$  bo'lganligi sabali bu hadning yuqori darjalarini hisobga olmasak,  $\bar{\varepsilon}$  uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{kT} - 1} \cong kT \quad (4)$$

Yuqori harorat va katta chastotalarda kvant effektning roli sezilarli bo'lmaydi. Plank formulasi yana klassik fizikadagi energiyaning erkinlik darjasini ko'ra teng taqsimlanishiga olib keladi.

Yuqorida aytilgan mulohazalarni hisobga olib ikki atomli gaz molekulasingning energiyasi quyidagi formula bilan aniqlaniladi:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{5}{2}kT + \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (5)$$

Bu formulada birinchi had ( $\frac{5}{2}kT$ ) klassik nazariyada hisobga olingan molekulaning ilgarilanma va aylanma harakatining erkinlik darjalariga tog'ri kelgan energiya, ikkinchi had esa molekulaning tebranma harakatining erkinlik darjalariga to'g'ri kelgan energiya. Bir mol gaz uchun (5) ni yozsak,

$$U = N_A \bar{\varepsilon} = \frac{5}{2}RT + N_A \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (6)$$

boladi.

O'zgarmas hajmda ikki atomli ideal gazning molyar issiqlik si'gimi formulasi (6) dan harorat ( $T$ ) bo'yicha hosila olsak, quyidagi ko'rinishni oladi:

$$C_{\mu\nu} = \frac{dU}{dT} = \frac{5}{2}R + R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{e^{\frac{h\nu}{kT}}}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (7)$$

bo'ladi.

Agar  $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$  bo'lsa,  $c_{\mu\nu} = \frac{7}{2}R \approx 29 \frac{J}{mol \cdot K}$  bo'ladi.

Agar  $\frac{h\nu}{kT} \gg 1$  bo'lsa,  $c_{\mu\nu} = \frac{5}{2}R \approx 20,75 \frac{J}{mol \cdot K}$  bo'ladi.

9-rasmda ko'rsatilgan tajriba natijalari, kvant nazariya xulosalariga mos kelar ekan.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Gazlarning issiqlik sig'imi deganda nimani tushunasiz?
2. Molekulalarning erkinlik darajasi deganda nimani tushunasiz?
3. Issiqlik sig'imi deganda nimani tushunasiz?
4. Ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imi deganda nimani tushunasiz?
5.  $kT$  Ifodadagi k ni fizik ma'nosini tushuntiring?

**15-mavzu. Ikki va ko'p atomli gazlar. Ikki va ko'p atomli gazlarning issig'lik sig'implari. Teng taqsimot qonuni.**

**Reja:**

1. Ikki va ko'p atomli gazlar.
2. Ikki va ko'p atomli gazlarning issig'lik sig'implari.
3. Teng taqsimot qonuni.

### *Ideal gazning issiqlik sig'imi. Mayer tenglamasi*

Biror jismni ma'lum haroratgacha isitish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdori shu jismning massa miqdoriga bog'liq. Shuning uchun moddaning issiqlik xossalalarini tavsiflash uchun termodinamikada **issiqlik sig'imi** tushunchasi kiritiladi.

*Moddaning haroratini bir gradusga oshirish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lган fizik kattalik moddaning issiqlik si'gimi deyiladi, ya'ni*

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Moddaning birlik massasi haroratini bir gradusga o'zgartirish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lган fizik kattalik **solishtirma issiqlik sig'imi** deyiladi, ya'ni

$$C = \frac{dQ}{mdT} \quad (2)$$

Bir mol modda haroratini bir gradusga o'zgratisrish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lган fizik kattalik **molyar issiqlik sig'imi** deyiladi, ya'ni

$$C_{\mu} = \mu c = \frac{\mu dQ}{mdT} \quad (3)$$

bunda  $\mu$  – moddaning molyar massasi.

Termodinamik sistema holati (gaz, suyuqlik, qattiq jism) bir holatdan ikkinchi holatga qanday jarayon orqali o'tishiga bog'liq. Shuning uchun, moddaning issiqlik sig'imi har xil jarayonlarda har xil bo'ladi. Masalan, gazning isitilishi o'zgarmas hajmda ( $V=Const$ ) amalga oshayotgan bo'lsin. Unda bir mol ideal gazning issiqlik sig'imi

$$C_{\mu V} = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_V \quad (4)$$

bo'ladi.

Izoxorik jarayonda  $V=Const$  yoki  $dV=0$  bo'lganligi uchun sistema tashqi kuchlarga nisbatan ish bajarmaydi ( $dA=0$ ). Sistemaga berilayotgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasi o'zgarishiga ketadi, shuning uchun

$$dQ=dU \quad (5)$$

Unda

$$C_{\mu V} = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_V = \left( \frac{dU}{dT} \right)_V \quad (6)$$

Bundan,

$$dU = C_{\mu V} dT \quad (7)$$

(7) dan ko'rindiki, ideal gazning ichki energiyasini o'zgarishi haroratning o'zgarishiga bog'liq ekan.

Gazning isitilishi o'zgarmas bosimda ( $P=Const$ ) oshsin, unda bir mol gazning issiqlik sig'imi izobarik jarayonda

$$C_{\mu P} = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_P \quad (8)$$

bo'lib, bundan

$$dQ = C_{\mu P} dT \quad (9)$$

hosil bo'ladi.

(9) va (7) formulalarni e'tiborga olsak, termodinamikaning birinchi qonunini  $dQ = dU + PdV$  quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$C_{\mu P} \cdot dT = C_{\mu V} dT + PdV \quad (10)$$

(10) dan izobarik jarayoinda ideal gazning molyar issiqlik sig'imi

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + \frac{PdV}{dT} \quad (11)$$

bo'ladi. Bir mol ideal ganing holat tenglamasini ( $PV = RT$ ) harorat  $T$  bo'yicha differensiallasak ( $P = Const$ ), unda

$$PdV = RdT \quad (12)$$

hosil bo'ladi. Unda (12) ni e'tiborga olib, (11) ni quyidagicha yoza olamiz:

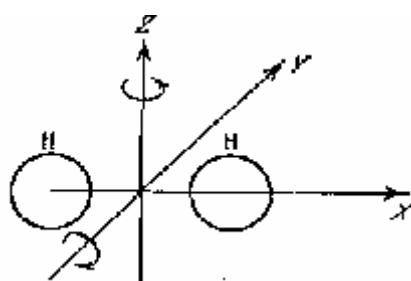
$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R \quad (13)$$

bu tenglama **R.Mayer tenglamasi** deyiladi.

Shunday qilib, *o'zgarmas bosimdagi ideal ganing molyar issiqlik sig'imi, o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidan universal gaz doimiysicha katta ekan.*

Avvalgi paragrafda bir atomli gazning issiqlik sig'imi o'rganayotganimizda molekulaning bir erkinlik darajasiga to'g'ri keluvchi o'rtacha kinetik energiyasi  $kT/2$  ga teng ekanini aytib o'tgan edik. Agar molekulaning yana qandaydir erkinlik darajalari bo'lganida edi, ularning har biriga  $kT/2$  kinetik energiya to'g'ri kelgan bo'lar edi.

Haqiqatan ham, klassik statistik fizikada (ya'ni kvant fizikasidan boshqa fizikada) bunday teorema (Bolsman teoremasi) isbot qilinadi. Bu teoremani shunday ta'riflash mumkin: *agar molekulalar sistemasi  $T$  temperaturada issiqlik muvozanatida bo'lsa, u holda o'rtacha kinetik energiya barcha erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanadi va molekulaning har bir erkinlik darajasi uchun bu energiya  $kT/2$  ga teng bo'ladi.*



1-rasm.

(Bu qonun yana shunday ta'riflanishi ham mumkin: agar sistema energiyasining biror tashkil etuvchisi koordinata kvadratiga yoki tezlik komponenti kvadratiga proportsional bo'lsa, u holda  $T$  temperaturada sistemaning issiqlik muvozanati holatida bu qism energiyaning o'rtacha qiymati  $kT/2$  ga teng.)

Bu teorema kinetik energnyaning erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanish qonuni yoki qisqacha, *teng taqsimot qonuni* deb ataladi.

Bu qonun yuqorida qo'yilgan masalaga javob berishga imkon beradi.

O'zlarining ichki energiyalari jihatidan ikki va ko'p atomli gazlar bir atomli gazzlardan o'z molekulalarining erkinlik darajalari soni bilan farq qiladi. Binobarin, gazning ichki energiyasini va demak, issiqlik sig'imini hisoblash uchun gaz molekulalarining erkinlik darajalari sonini aniqlay bilish kerak. Dastlab eng sodda hol — ikki atomli molekulani ko'raylik. Bun-day molekulani bir-biridan ma'lum masofada joylashgan ikki atomdan tuzilgan sistema deb qarash mumkin (1-rasm). Agar bu ikki atom orasidagi masofa o'zgarmasa (bunday molekulalarni biz qattiq molekulalar deb ataymiz), bunday sistemaning, umuman aytganda, oltita erkinlik darajasi bo'ladi.

Haqiqatan ham, bunday molekulaning vaziyati va konfiguratsiyasi uning massalar markazining uch koordinatasi (bu koordinatalar molekulaning butunicha ilgarilanma harakatini aniqlaydi) va molekulaning o'zaro perpendikulyar  $X$ ,  $U$ ,  $Z$  o'qlari yaqinida mumkin bo'lgan aylanishlarini xarakterlovchi uch koordinata bilan aniqlanadi.

Biroq tajriba va nazariya shuni ko'rsatadiki, molekulalar  $X$  o'q, ya'ni har ikkala atomning markazlari yotgan o'q yaqinida faqat juda yuqori temperaturalardagina aylanishi mumkin (1-rasm). Odatdagi temperaturalarda molekula, xuddi shuningdek, alohida atom ham,  $X$  o'qi yaqinida aylanmaydi. SHuning uchun biz tanlagan molekulaning mumkin bo'lgan aylanishlarini tavsif qilish uchun ikki koordinataning o'zi ham yetarlidir.

Binobarin, qattiq ikki atomli molekulaning erkinlik darajalari soni 5 ga teng, ulardan uchtasi ilgarilanma (odatda shunday deyiladi), ikkitasi aylanma erkinlik darajalaridir.

Biroq molekuladagi atomlar hamma vaqt ham bir-birlari bilan qattiq bog'langan bo'lavermaydi; ular bir-biriga nisbatan tebranma harakat qilishi mumkin. Bunda, ravshanki, molekulaning konfiguratsiyasini aniqlash uchun yana bitta koordinata kerak bo'ladi, bu atomlar orasidagi masofadir.

Demak, umumiyl holda ikki atomli molekula *olti* erkinlik darajasiga: uchta ilgarilanma, ikkita aylaima va bitta tebranma erkinlik darajasiga ega.

Agar molekula qattiq bog'lanmagan *p* ta atomdan iborat bo'lsa, bu molekula  $3 p$  ta erkinlik darajasiga ega bo'ladi (har bir atomning uchtadan erkinlik darajasi bor). Bu erkinlik darajalari sonidan uchtasi ilgarilanma va uchtasi aylanma erkinlik darajalari bo'ladi. Atomlar bir to'g'ri chiziq bo'ylab joylashgan bo'lsa, aylanma erkinlik darajalari ikkita, ya'ni xuddi ikki atomli molekulani singari bo'ladi.

Misol uchun 2-rasmda uch atomli molekulaning modeli keltirilgan va molekula burchak tezligining vektori joylashishi mumkin bo'lgan *X*, *U*, *Z* o'qlar ko'rsatilgan. SHunday qilib, bir to'g'ri chiziqdagi joylashmagan *n*-atomli molekula umumiyl  $3n-6$  tebranma erkinlik darajalariga hamda bir to'g'ri chiziqdl joylashuvchi *p*-atomli molekula  $3n-5$  erkinlik darajalariga ega bo'lar ekan.

Ko'p hollarda atomlarning tebranma harakatlari mutlaqo uyg'onmaydi. Biroq agar molekulada atomlar tebranayotgan bo'lsa va tebranish amplitudalari (ular orasidagi masofaga nisbatan) kichik bo'lsa, u holda bunday tebranishlarni garmonik tebranishlar deyish mumkin; bu holda atomlar garmonik ostsillyatorlar bo'ladi.

Biroq ostsillyatorning faqat kinetik energiyagagina emas, balki potentsial energiyaga ham ega bo'ladi (potentsial energiya atomni muvozanat holatiga qaytaruvchi kuchlar tomonida hosil qilinadi). Mexanikadan ma'lumki, *garmonik* ostsillyator uchun kinetik va potentsial energiyaning o'rtacha qiymatlari o'zaro teng. Binobarin, agar molekulada *garmonik* tebranishlar yuzaga kelgan bo'lsa, u holda teng taqsimot qonuniga ko'ra, har bir tebranish erkinlik darajasi uchun  $kT/2$  kinetik energiya va  $kT/2$  potentsial energiya to'g'ri keladi. Angarmonik (*garmonik* bo'limgan) tebranishlar uchun bu o'rini emas. Boshqacha aytganda: har *tebranish* erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan energiya  $\frac{1}{2}kT$  ga emas, balki  $2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT$  ga teng.

Ana endi ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imini hisoblash qiyin emas.

Agar gaz molekulasing erkinlik darajalari soni *i* ga teng bo'lsa, u holda uning o'rtacha kinetik energiyasi

$$i \frac{kT}{2}$$

ga, bunday gaz bir molining ichki energiyasi esa

$$U = \frac{i}{2}RT \quad (57)$$

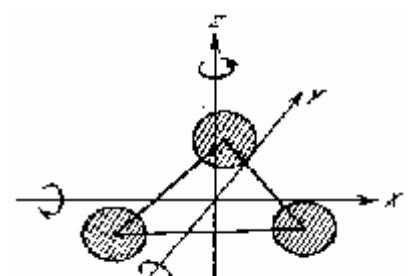
ga teng. SHunga mos holda gazning molyar issiqlik sig'implari

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2}R \quad (58)$$

va

$$C_P = C_V + R = \left( \frac{i}{2} + 1 \right)R \quad (59)$$

Erkinlik darajalari soni *i* ni hisoblashda tebranish darajalarini ikki karra orttirish kerak. Agar erkinlik darajalari soni *i* ga birmuncha boshqacharoq ta'rif berilsa,



2-rasm.

bunday qilmasa ham bo'ladi, unda bu ta'rif shunday to'lishi kerak: *erkinlik darajalari soni sistema energiyasini aniqlovchi mustaqil kvadratik o'zgaruvchilar sonidir.*

Haqiqatan ham, molekulaning ilgarilanma va aylanma harakatlari kinetik energiyasi tezliklar (chiziqli va burchak tezliklari) komponentalarining (mustaqil) *kvadratlari* yig'indisiga proporsional bo'ladi.

Molekulaning ichida atomlarning, masalan,  $X$  o'qi bo'ylab tebranish energiyasiga kelsak, bu energiya tezlikning *kvadrati*  $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$  ga proporsional bo'lgan kinetik energiya hamda muvozanat holatiga nisbatan  $x$  siljish *kvadrati*  $x^2$  ga proporsional bo'lgan potentsial energiya yig'indisiga teng. SHunday qilib, erkinlik darajalari sonining yangi ta'rifiqa ko'ra, atomning ayni shu o'q bo'ylab tebranma harakatiga ikki erkinlik darajasini berish mumkin va bunda (57) formula hech qanday izohsiz qo'llaniladi (teng taqsimot qonunining ikkinchi ta'rifi bilan taqqoslang);

Molekulalarning erkinlik darajalari soni haqida aytilgan bu mulohazalar ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'implari haqida yuqorida keltirilgan eksperimental ma'lumotlarni tavsiflashga imkon beradi.

Masalan, vodorod, azot, kislородning va ba'zi boshqa ikki atomli gazlar issiqlik sig'imining yetarlicha aniqlik bilan  $\frac{5}{2}R$  ga teng ekanligi dalilidan bu gazlar

molekulalarining erkinlik darajalari soni 5 ga teng ekanligi kelib chiqadi. Bundan bu gaz molekulalari qattiq (tebranish erkinlik darajalari uyg'onmagan) degan xulosaga kelish mumkin. Ba'zi uch atomli gazlarga nisbatan ham shunday deyish mumkin. Biroq bu yyerda eksperimental natijalar nazariy kutilganidan birmuncha boshqacharoq bo'ladi. (58) formuladan «qattiq» uch atomli molekulalarning kssiqlik sig'imi  $C_v = \frac{6}{2}R = 3R$  ga teng bo'lishi kerak ekanligi kelib chiqadi. Holbuki, 6-

jadvalda keltirilgan barcha uch atomli gazlarning issiqlik sig'implari bu qiymatdan birmuncha kattaroq (bu farq o'lchashdagi xatolarga bog'liq deb tushuntirib bo'lmaydi).

Xlor issiqlik sig'imining topilgan qiymatlarini ham bayon qilingan bu nazariya nuqtai nazaridan tushuntirib bo'lmaydi. 6- jadvalda keltirilgan xlor issiqlik sig'imining  $C_v = 3,02R$  ga teng bo'lgan qiymati xlor molekulasi uchun olti erkinlik darajasiga to'g'ri keladi. Biroq xloring molekulasi ikki atomli bo'lgani uchun agar uning ikki atomi o'zaro qattiq bog'langan bo'lsa, besh erkinlik darajasiga (u holda  $C_v = \frac{5}{2}R$ ), yoki agar atomlar molekula ichida tebrana olsa (erkinlik darajasi soni  $i$  ning ikkinchi ta'rifiqa ko'ra) yetti erkinlik darajasiga ega bo'ladi (bu holda  $C_v = \frac{7}{2}R$ ).

Ko'rinish turibdiki, bu holda ham issiqlik sig'imi nazariyasi qanoatlanarli deb bo'lmaydi. Bunga sabab shuki, bizning nazariyamiz molekulaning teng taqsimot qonunini hamma vaqt ham qo'llab bo'lavermaydigan, molekuladagi ichki

harakatlari bilan bog'liq bo'lgan energiyani yetarli darajada nazarga olishga qodir emas.

Nazariy natijalardan muhim chetlashish shundan iboratki, issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lib chiqmoqda, holbuki (58) tenglamaga muvofiq berilgan *i* qiymatli ayni shu gaz uchun issiqlik sig'imi o'zgarmas kattalik bo'lishi kerak. Tajriba temperatura pasayganda issiqlik sig'imining kamayishini ko'rsatadi.

Bunday bog'lanishni temperatura o'zgarganida molekulalarning "haqiqiy" (amaldagi) erkinlik darajalari soni o'zgaradi, ya'ni molekulalarning temperaturalarning bir sohasida mavjud bo'lgan qandaydir harakatlari boshqa sohasida to'xtar ekan deb tushuntirish mumkin. Biroq bunday deyilsa, temperatura o'zgarganida issiqlik sig'imi sakrash bilan o'zgarishi kerak bo'ladi. Chunki molekulaning u yoki bu harakati sodir bo'lishi ham mumkin, bo'lmasligi ham mumkin; harakat sodir bo'lganida unga  $kT/2$  energiya to'g'ri keladi, harakat bo'lmasligan holda esa bu energiya va uning issiqlik sig'imiga qo'shadigan hissasi bo'lmaydi. Albatta, molekulaning harakati to'satdan to'xtamasligi yoki paydo bo'lmasligi, balki uning intensivligi asta-sekin o'zgarishi mumkin. Biroq teng taqsimot qonuni buni farq qilmaydi; har qanday erkinlik darajasiga ayni bir energiya to'g'ri keladi (Zommerfeld bu holni "erkinlik darajalari baholanmaydi, balki ular sanaladi", - deb to'g'ri ifodalagan edi). Holbuki, tajribaning ko'rsatishicha, issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligi silliq chiziqdan iborat, ya'ni issiqlik sig'imi asta-sekin o'zgaradi. Binobarin, energiyaning darajalari bo'yicha teng taqsimot qonuni tamomila to'g'ri deb hisoblanishi mumkin emas, uning qo'llanishi cheklangandir.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Ideal gaz deganda nimani tushunasiz?
2. Bir atomli va ko'p atomli gazlar haqida ma'umot bering?
3. Issiqlik sig'imini tushuntiring?
4. Ideal gazlar uchun issiqlik sig'imi qanday aniqlanadi?
5. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imini aniqlash formulasini ayting?
6. Teng taqsimot qonunini tushuntiring?
7. Erkinlik darajalari deganda nimani tushunasiz?

## 16-Mavzu: Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish. Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish. Politropik jarayon.

**Reja:**

1. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish.
2. Adiabatik jarayon.
3. Adiabatik jarayonda bajarilgai ish.
4. Politropik jarayon.

**Tayanch so'z va iboralar:** Bajarilgan ish, Adiabatik jarayon, Politropik jarayon, Issiqlik miqdori, izoterma, izobarik, adiabatik jarayon, universial gaz doimiysi, Bosman doimiysi.

*Bu mavzuda talabalarga turli jarayonlarda, ya'ni izoterma, izobarik, adiabatik va politropik jarayonlarda ideal gaz bajargan io'ni hisoblash yo'li ko'rsatib beriladi va analiz qilinadi.*

*Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:*

- 1) Izotermik jarayonda ideal gaz bajargan ish formulasini tushuntirib bering.
- 2) Ideal gaz adiabatik siqilsa, uning temperaturasi qanday o'zgaradi?
- 3) Adiabata ko'rsatkichi deb nimaga aytildi?
- 4) Politropa ko'rsatkichi bilan adiabata ko'rsatkichi orasida qanday o'xshashlik bor?
- 5) Politropik jarayon boshqa jarayonlar bilan qanday bog'langan?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [4], [6].

### Ideal gaz hajmining izotermik o'zgarishida bajarilgan ish

Gazning hajmi izotermik o'zgarganda bajarilgan ishni aniqlash uchun quyidagi

$$\int dA = \int pdV$$

integralni izoterma bo'yicha hisoblash kerak. Bosim kengayish vaqtida uzlusiz o'zgargani uchun biz  $p$  ni integraldan tashqariga chiqara olmaymiz. Bosim gazning hajmi o'zgarganida Boyle – Mariott qonuniga ko'ra o'zgaradi, ya'ni

$$pV = RT = \text{const}, \text{ bundan } p = \frac{RT}{V}$$

$p$  ning bu qiymatini integral belgisi ostiga qo'ysak, hajmi  $V_1$  dan  $V_2$  gacha o'zgarganida  $A$  ishning ifodasini hosil qilamiz:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (65)$$

Bu formula 1 molga ideal gazning izotermik kengayishi (yoki siqilishi) da bajargan ishni beradi. Agar gazning massasi 1 molga teng bo'lmasa, u holda (65) formula shunday ko'rinishga keladi:

$$A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (66)$$

bu yyerda  $M / \mu$  - mollar soni .

(65) va (66) formulalardan izotermik kengayish ishi kengayish ro'y berayotgan hajmlarning farqiga emas, ularning nisbatiga bog'liq ekanligi ko'rinish turibdi. Siqilishda ham xuddi shunday bo'ladi.

Boyl's - Mariott qonuniga ko'ra  $p_1V_1 = p_2V_2$  bo'lgani uchun

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}.$$

SHuning uchun (65) va (66) formulalardan hajmlarning nisbati o'rniga bosimlarning teskari nisbatini qo'yish mumkin:

$$A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

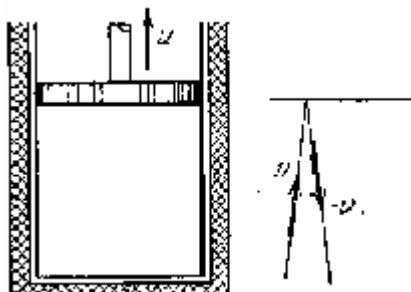
Ko'rsatib o'tilganidek, izotermik kengayishda gazga berilayotgan issiqlik faqat tashqi ish bajarishga sarf qilinadi. Aksincha, izotermik siqilishda tashqi kuchlarning ishi atrof jismlarning ichki energiyasini oshirishga (ularni isitishga) ketadi. Formal jihatdan bu gazning issiqlik sig'imi  $\frac{dQ}{dT}$  cheksiz ekanligini bildiradi (chunki  $dT=0$ ).

### Ideal gaz hajmining adiabatik o'zgarishi

Adiabatik protsessda gaz atrof jismlarga issiqlik bermaydi ham, issiqlik olmaydi ham ( $dQ=0$ ). Energiyaning saqlanish qonuni bu holda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$-pdV = C_v dT. \quad (67)$$

Demak, gaz hajmining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan ish ichki energiyaning o'zgarishiga, ya'ni temperaturaning o'zgarishiga olib kelishi kerak. (67) ifodadagi minus ishorasi gaz hajmining ortishi (kengayishi) bilan uning temperaturasi pasayishini, gaz hajmining kamayishi (siqilishi) bilan uning temperaturasi ko'tarilishini bildiradi. Birinchi holda ish gazning xususiy ichki energiyasi hisobiga bajariladi, shuning uchun uning temperaturasi pasayadi. Ikkinchi holda esa tashqi kuch hisobiga ish bajariladi va ana shu ish hisobiga gazning ichki energiyasi, demak, temperaturasi ko'tariladi.



3-rasm.

Temperatura bunday o'zgarishining "kinetik" manzarasini tasavvur qilish oson. Porshenli tsilindr uo'rinishidagi gaz to'ldirilgan idishni ko'z oldimizga keltiraylik (3-rasm). Porshen u tezlik bilan yuqoriga ko'tarilayotgan (gaz kengayayotgan) bo'lsin. Porshen harakati yo'nalishida v tezlik bilan harakatlanayotgan biror molekulani ko'raylik. Agar bu porshenni "quvayotgan" molekulaning idish devorlariga nisbatan tezligi v ga teng bo'lsa, u holda uning porshenga nisbatan tezligi v - u ga teng bo'ladi. Biz ko'rayotgan molekula porshenni "quvib yetgani" va porshen bilan elastik urilganidan keyin, garchi molekula endi porshen ketidan emas, unga qarama-qarshi harakatlanayotgan bo'lsa-da, uning porshenga nisbatan tezligi avvalgidek v - u bo'lib qolishi kerak. Demak, uning idish devorlariga nisbatan tezligi avvalgidan v - 2 u miqdor kichik bo'ladi. SHunday qilib, harakatlanayotgan porshen bilan to'qnashayotgan barcha

molekulalar undan to'qnashguncha bo'lgan tezliklaridan kichik tezlik bilan qaytadi. Bu molekulalarning o'rtacha tezligining va demak, temperaturasining pasayishiga olib keladi.

Xuddi shu yo'l bilan porshenning teskari yo'nalishda harakatlanishida (gaz siqilganda) temperaturaning ko'tarilishi ro'y beradi.

**Puasson tenglamasi.** Gaz hajmining adiabatik o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblashdan ilgari gazning hajmi bilan bosimi orasidagi bog'lanishni aniqlaylik, chunki adiabatik protsessda bu Boyle – Mariott qonuniga bo'ysunmaydi. Buning uchun

$$\tilde{N}_v dT + pdV = 0 \quad (68)$$

tenglamadan  $T$  ni chiqarib tashlash kerak. Bunday amalni holat tenglamasi

$$pV = RT$$

ni differentialsallab bajaramiz, u holda

$$pdV + Vdp = RdT, \text{ bundan } dT = \frac{pdV + Vdp}{R}.$$

$dT$  ning bu qiymatini (68) ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$C_v \frac{pdV + Vdp}{R} + pdV = 0,$$

yoki  $R$  ni unga teng  $C_p - C_v = R$  qiymat bilan almashtiranimizdan keyin quyidagini olamiz:

$$C_v Vdp + C_p pdV = 0.$$

Issiqlik sig'implari nisbati  $C_p / C_v$  ni  $\gamma$  bilan belgilaymiz, u holda oxirgi tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \quad (69)$$

$\gamma$  ni domiy deb faraz qilsak, quyidagicha yozish mumkin:

$$\int \frac{dp}{p} + \gamma \int \frac{dV}{V} = 0$$

Integrallanimizdan keyin  $\ln p + \gamma \ln V = const$  yoki

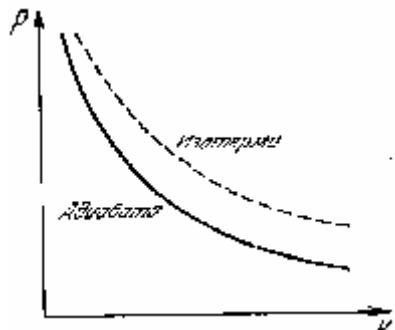
$$pV^\gamma = const \quad (70)$$

ifodaga ega bo'lamiz. Bu hajm adiabatik o'zgarish protsessida ideal gaz bosimi va hajmi orasidagi biz izlayotgan munosabatdir.

(70) tenglama *Puasson tenglamasi* yoki adiabata tenglamasi,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  kattalik esa *adiabata ko'rsatkichi* deb ataladi.

(69) ifodani integrallaganimizda biz  $\gamma$  kattalikni doimiy deb oldik. Qat'iy aytiladigan bo'lsa, bu unchalik aniq emas.  $C_v$  issiqlik sig'imi, binobarin,  $C_p$  va  $\gamma$  ham hajm, bosim va temperatura o'zgarishi bilan o'zgarishi mumkin. SHuning uchun Puasson tenglamasi (70) bosim va hajmlarning aniq cheklangan qiymatlari intervali uchungina qat'iy o'rinni. (69) differential tenglama esa aniq tenglamadir.

Puasson tenglamasidan ko'riniib turibdiki, izotermik protsessdan farqli ravishda, gaz hajmining adiabatik o'zgarishda uning bosimi hajmining birinchi darajasiga emas, balki  $V^\gamma$  ga proportsial o'zgaradi. Bunda  $C_p > C_v$  bo'lgani uchun  $\gamma$  birdan katta. Endi bosimning hajmga boglanish grafigi giperboliga bo'lmasligi ravshan.



4-rasm.

$\gamma > 1$  bo'lgani uchun adiabatik protsessda  $p = f(V)$  egri chiziqni *adiabata* deb ataladi va izotermadan tikroq bo'ladi. Bu adiabata va u bilan taqqoslash uchun ideal gaz izotermasi tasvirlangan 4-rasmdan ko'riniib turibdi.

Adiabatik protsessda hajm ortganida bosimning tikroq kamayishiga sabab shuki, ideal gaz adiabatik kengayganda uning bosimi faqat hajmning ortishi hisobiga emas, ayni vaqtida gaz temperaturasining pasayishi tufayli ham kamayadi.

Adiabatik protsessda gazning boshqa parametrлари орасидаги муносабатларни топиш ham qiyin emas.

Masalan, (70) tenglama va  $pV = RT$  holat tenglamasidan  $p$  bosimni yo'qotib, gaz hajmining adiabatik o'zgarishida temperatura bilan hajm орасидаги муносабатни топамиз. (70) tenglamaga  $p = RT/V$  qiymatni qo'yib quyidagini olamiz:

$$\frac{RT}{V} V^\gamma = \text{const}$$

yoki

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (71)$$

(чунки  $R - o'zgarmas$  kattalik). Xuddi shuningdek, (70) tenglamaga holat tenglamasidan  $V$  ning  $V = \frac{RT}{p}$  qiymatini qo'yib, adiabatik protsessda bosim bilan temperatura орасидаги муносабатни топамиз:

$$p \left( \frac{RT}{p} \right)^\gamma = \text{const}$$

va

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}. \quad (72)$$

(72) tenglamaning har ikki tomonini  $\frac{1}{\gamma}$  darajasiga ko'tarib, quyidagini olamiz:

$$Tp^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const}. \quad (73)$$

Ravshanki, Puasson formulasining qo'llanish chegarasi haqidagi eslatma (71) va (73) formulalar uchun ham tegishlidir.

### Gaz hajmining adiabatik o'zgarishida bajarilgan ish

Hozirgina olingan adiabata tenglamasidan foydalanib gazning adiabatik kengayishda bajargan (yoki tashqi kuchlarning gazni siqishda bajargan) ishini hisoblashimiz mumkin.

Gazning ( $1 \text{ mol}$  gazning) biror boshlang'ich  $V_1$  hajmdan  $V_2$  hajmgacha kengayishida bajarilgan ishni hisoblaymiz. Hajm  $dV$  ga o'zgarganida bajarilgan elementar ish

$$dA = pdV$$

ga teng. Gazning bosimi  $p$  va uning hajmi  $V$  orasidagi munosabat adiabata tenglamasi bilan aniqlanadi (muvozanat bo'lishi uchun kengayish protsessi adiabata bo'ylab borishi kerak):

$$pV^\gamma = \text{const},$$

bu tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$pV^\gamma = p_1 V_1^\gamma,$$

bu yyerda  $p_1$  - gazning boshlang'ich bosimi,  $V_1$  - uning boshlang'ich hajmi. Bundan

$$p = \frac{p_1 V_1^\gamma}{V^\gamma},$$

$p$  ning bu qiymatini ish formulasiga qo'yamiz:

$$dA = \frac{p_1 V_1^\gamma}{V^\gamma} dV.$$

Hajmning  $V_1$  dan  $V_2$  gacha o'zgarishida bajarilgan ishni hosil qilish uchun  $dA$  ning ifodasini shu chegarada integrallash kerak:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p_1 V_1^\gamma \frac{dV}{V^\gamma} = p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma}.$$

Integrallaganimizdan keyin tenglamaning o'ng tomonidagi integral uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{1}{\gamma-1} \left( \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_2^{\gamma-1}} \right).$$

SHuning uchun  $A$  ishning ifodasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$A = \frac{p_1 V_1^\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right].$$

Holat tenglamasidan  $p_1 = RT_1/V_1$  kelib chiqadi, bundan  $A$  ning shunday ifodasini yozamiz:

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]. \quad (74)$$

Agar gazning massasi  $M$  ga teng bo'lsa, u holda formula shunday ko'rinishga keladi:

$$A = \frac{M}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]. \quad (75)$$

$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$  bo'lgani uchun  $\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$ . SHuning uchun hajmning adiabatik

o'zgarishida bajarilgan ishning formulasini shunday ko'rinishda yozish mumkin:

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2) = C_V (T_1 - T_2),$$

chunki

$$\frac{R}{\gamma-1} = C_V.$$

(74) va (66) ifodalarni taqqoslashdan shunday xulosaga kelish mumkin: adiabatik kengayishda izotermik kengayishdagidan (hajmnning ayni birday kattalikka o'zgarishida) kam ish bajariladi. Adiabataning izotermaga nisbatan tik bo'lishining sababi shunda, chunki shunday bo'lgani tufayli boshlang'ich sharoit birday bo'lgani holda kengayish protsessining har qanday bosqichida bosim adiabatik protsessda izotermik protsessdagidan kam bo'ladi.

Gazning adiabatik kengayishida bajarilgan ish adiabata ko'rsatkichi  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

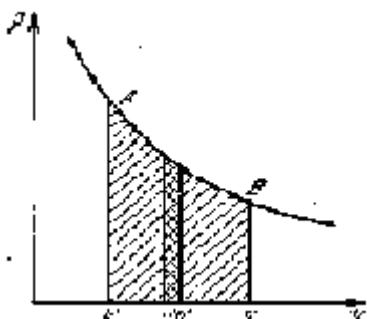
ning qiymatiga ancha bog'liq bo'ladi. Agar  $\gamma \rightarrow 1$  bo'lsa, adiabatik kengayishdagi ish izotermik kengayishdagi ishning qiymatiga intilishini ko'rish oson. Bunga ishonch hosil qilish uchun (74) tenglama o'ng qismining  $\gamma \rightarrow 1$  bo'lgandagi limit qiymatini topib (Lopital teoremasini qo'llab), bunga oson ishonch hosil qilish mumkin.

$\gamma$  ning qiymati hammadan ko'ra birga yaqinroq bo'lgan ko'p atomli gazlarda izotermik va adiabatik protsesslarda bajarilgan ishlarning qiymatlari orasidagi farq eng kam bo'ladi.

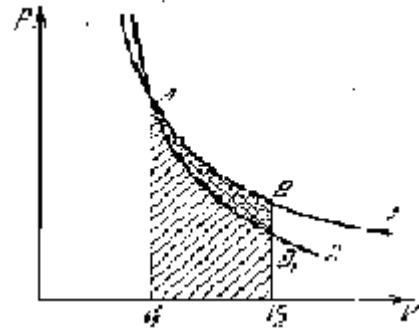
Bu ikki protsessni gaz hajmi o'zgarishining grafik tasvirlarini solishtirish yo'li bilan taqqoslash juda qulaydir. Gaz bosimining uning hajmiga bog'liqligini ifodalovchi grafikda (5-rasm) gaz hajmi  $dV$  ga o'zgargandagi bajarilgan  $dA$  elementar ish  $AB$  egri chiziqning kichik qismi va abstsissalar o'qidagi  $dV$  kesma bilan chegaralangan yuz bilan tasvirlanadi (katak-katak qilib shtrixlangan). Gazning hajmining  $V_1$  dan  $V_2$  gacha o'zgorganida bajarilgan ish esa  $\int_{V_1}^{V_2} pdV$  ga teng bo'lib,

egri chiziqning  $AB$  uchastkasida va abstsissadar o'qining kesmasi bilan chegaralangan butun shtrixlangan yuz bilan tasvirlanadi.

6-rasmida taqqoslash uchun ayni bir gaz uchun birday boshlang'ich sharoitlardagi izotermasi va adiabatasini tasvirlovchi 1 va 2 egri chiziqlar berilgan. Gazning hajmi  $V_1$  dan  $V_2$  gacha izotermik o'zgorganida bajarilgan ish  $AB_1V_1A$  yuzga teng, adiabatik kengayishdagi ish esa  $AB_1V_2V_1A$  yuzga teng, uning kichik ekanligi ravshan (6-rasmga q.).



5-rasm.



6-rasm.

Adiabata doimiysi  $\gamma$  qancha kichik bo'lsa, adiabata izotermaga shuncha yaqin bo'ladi va ikki egri chiziq ostidagi yuzlar orasida farq ham shuncha kam bo'ladi.  $\gamma \rightarrow 1$  bo'lganda limitda adiabata izotermaga aylanadi.

### Politropik protsess

Gaz holatining biz bayon qilgan izotermik va adiabatik o'zgarishlari ideallashtirilgan protsesslardir: bu protesslardan birinchisi atrof muhit yoki termostat bilan ideal kontaktda bo'lishini, ikkinchisi esa – atrof muhitdan ideal izolyatsiya qilinishini talab qiladi. Bu har ikki protsessni ularga qaraganda umumiyoq bo'lgan *politropik* protsessning xususiy chegaraviy hollari deb qarash mumkin. Politropik protsess deb  $S$  issiqlik sig'imi o'zgarmas va  $\frac{dQ}{dT}$  ga teng bo'lib qoladigan har qanday holat o'zgarishiga aytiladi:

$$C = \frac{dQ}{dT} \text{ yoki } dQ = CdT.$$

Politropik protsessning umumiy tenglamasi (politropa tenglamasi) ni topaylik.

Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra

$$dQ = CdT = C_V dT + pdV$$

yoki

$$(C - C_V) dT = pdV. \quad (60)$$

Holat tenglamasidan differentiallab  $dT$  ning ifodasini topamiz (121-betda qilganimiz singari):

$$dT = \frac{pdV + Vdp}{R}.$$

Bu ifodani (60) ga qo'yib va  $R$  ni teng bo'lgan  $C_p - C_V$  ifoda bilan almashtirib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{C - C_V}{C_p - C_V} (pdV + Vdp) = pdV.$$

Bundan quyidagi tenglamani topamiz:

$$\left( \frac{C - C_V}{C_p - C_V} - 1 \right) pdV = - \frac{C - C_V}{C_p - C_V} \cdot Vdp.$$

O'zgaruvchilarni ajratib va sodda o'zgartirishlarni amalga oshirib, quyidagini topamiz:

$$\frac{C - C_p}{C_p - C_v} \frac{dV}{V} = - \frac{C - C_v}{C_p - C_v} \frac{dp}{p}.$$

Bu tenglamani integrallab quyidagini olamiz:

$$\ln p + \frac{C - C_p}{C - C_v} \ln V = const.$$

Quyidagicha belgilab olaylik:

$$\frac{C - C_p}{C - C_v} = n, \quad u holda \quad pV^n = const. \quad (61)$$

Bu tenglamadagi  $n$  ko'rsatkich  $\frac{C - C_p}{C - C_v}$  ga teng bo'lib, *politropa ko'rsatkichi* deb ataladi, bu yyerda  $S$  – shu protsessdagi gazning issiqlik sig'imi. Issiqlik sig'imi  $S$  nolga teng bo'ladi (chunki  $dQ = 0$ ) adiabatik protsessda  $n$  ko'rsatkich  $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$  bo'lishi ravshan. Issiqlik sig'imi cheksizga teng bo'lган (chunki  $dT=0$ ) izotermik protsess uchun  $n$  ko'rsatkich birga teng.

Agar  $n$  uchun yozilgan ifodadagi  $S$  issiqlik sig'imi  $S_p$  ga teng deb olsak, u holda (61) tenglamadan  $\rho = const$  ekanini keltirib chiqamiz, shunday bo'lishi ham kerak edi. Xuddi shuningdek, agar  $C = C_v$  deb olsak, bunda  $n$  ko'rsatkich  $\infty$  ga teng bo'ladi, u holda  $V = const$  bo'lishini keltirib chiqaramiz. (61) tenglamani  $1/n$  darajaga ko'tarib shunday natija kelib chiqishiga ishonch hosil qilish mumkin.

Ideal gazning adibatik siqilishi. 4-§ da ideal gaz siqilishining izometrik koeffitsienti  $\chi = -1/p$  ga teng bo'lishi ko'rsatilgan edi. Agar adiabatik sharoitlarda gazning bosimi o'zgartirilsa, uning siqilishi boshqacha bo'ladi. Buning sababi shundaki, bosim adiabatik o'zgarganda gazning faqat hajmigina emas, balki temperaturasi ham o'zgaradi va bu ham o'z navbatida hajmga ta'sir qiladi. Masalan, gazning bosimi oshirilsa, ya'ni gaz siqilsa, u isiydi. Gazning isishi tufayli uning hajmi ortadi, bu esa hajmning siqilish tufayli kamayishini qisman kompensatsiya qiladi.

SHuning uchun sifatiy mulohazalarga ko'ra, bosim adiabatik o'zgarganda izotermik o'zgargandagiga nisbatan gazning siqiluvchanligi kamroq bo'ladi.

Adiabatik siqilish koeffitsentining ta'rifga ko'ra miqdoran

$$\chi = \frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$$

ga teng bo'lган qiymati (69) tenglamadan bevosita kelib chiqadi:

$$\chi = -\frac{1}{\gamma p}.$$

SHunday qilib, gazning adiabatik siqiluvchanligi izotermik siqiluvchanlik  $\gamma$  marta kichik bo'ladi.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish deganda nimani tushunasiz?
2. Adiabatik jarayonni izohlang?
3. Adiabatik jarayonda bajarilgan ishni aytin?
4. Politropik jarayon deganda nimani tushunasiz?
5. Izojarayonlar deganda nimani tushunasiz?
6. Adiabatik siqilish koeffitsenti deganda nimani tushunasiz?
7. Izotermik siqiluvchanlik koeffitsenti deganda nimani tushunasiz?
8. Politropa ko'rsatkichi deganda nimani tushunasiz?
9. Adiabata ko'rsatgichini tushuntiring?

### **17-Maruza: Molekulyar harakatlar va ko'chish hodisalari. Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li. Diffuziya va modda ko'chishi.**

#### **Reja:**

1. Ko'chish jarayonlarining elementar kinetik nazariyasi.
2. Molekulyar harakatlar va ko'chish hodisalari.
3. Effektiv kesim yuzi.
4. O'rtacha erkin yugurish yo'li.
5. Diffuziya va modda ko'chishi.

#### **Tayanch soz va iboralar:**

**Ko'chish jarayonlari, ko'chish hodisalari, Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li, Diffuziya va modda ko'chishi**

*Bu mavzuda talabalarga molekulyar harakatlar, molekulalarning vaqt birligidagi o'rtacha to'qnashishlar soni, molekulalarning erkin yugurish yo'li, zarraning effektiv ko'ndalang kesimi to'g'risida tushuncha va ma'lumotlar beriladi.*

*Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:*

- 1) Molekulyar harakatlar bilan ko'chish hodisalari orasida qanday o'zaro bog'lanish mavjud?
- 2) Nima sababdan molekulalarning vaqt birligidagi o'rtacha to'qnashishlar soni o'rghaniladi?
- 3) Molekulalarning erkin yugurish yo'li deb nimaga aytildi?
- 4) Molekulalarning erkin yugurish yo'li qanday omillarga bog'liq?
- 5) Zarraning effektiv ko'ndalang kesimiga ta'rif bering.

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [5], [6].

#### **Molekulyar harakatlar va ko`chish hodisalari**

Gaz molekulalarining tezliklari kinetik nazariyaning asosiy tenglamasidan hisoblaganda molekulalarning tezliklari uchun juda katta son qiymati kelib chiqadi. Xona temperaturasida molekulalar tezligi havo molekulalari uchun 500 m/sek va

vodorod molekulalari uchun 1800 m/sek ga teng bo`lib chiqadi va bu bevosita tajribada tasdiqlanadi. Bu qiymatlar kutilmagan darajada katta bo`lib tuyuladi, chunki yuzaki qaraganda yaxshi ma`lum bo`lgan dalillarga zid keladi.

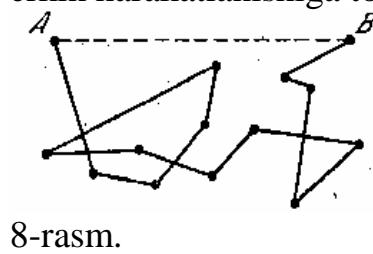
Boshqa misol ko`raylik. Biror hajmni egallagan gazga boshqa gazni qo`sksak va bunda butun hajmda bosim va temperatura birday bo`lgani holda aralashmaning kontsentratsiyasi bir qismida qolgan boshqa qismlardagidan ko`proq bo`lsa, biror vaqt o`tgandan keyin aralashmaning butun hajm bo`yicha tarqalishini va gazning bir jinsli bo`lib qolishini tajriba ko`rsatadi. Kontsentratsiyalarning bunday tenglashishi aralashma molekulalarining bu molekulalar kam bo`lgan yo`nalishda siljishi tufayli yuzaga keladi va *diffuziya* deb ataladi. Biroq siljigan molekulalar o`rniga boshqa molekulalar keladi va gazning bosimi bu yerda ham o`zgarishsiz qoladi. Aralashtirilgan gazda *massa* ko`chishi ro`y beradi, xolos.

Bunday ko`chish ham molekulalarning harakati tufayli ro`y bergani va bu harakatlarning tezligi esa katta bo`lgani uchun diffuziya juda tez amalga oshishi va demak, kontsentratsiya bir ondayoq tenglashishi kerak edi. Biroq tajriba shuni ko`rsatadiki, atmosfera bosimida diffuziya juda sekin protsess va gaz agar butunlayiga harakatlanmasa, uning aralashishi bir necha sutkaga cho`zilishi mumkin.

Nihoyat, gazning muvozanatini uning bir qismiga qo`shni boshqa qismlardan boshqacha oqim tezligini berish yo`li bilan buzish mumkin. Bu holda ham gazning tez harakatlanayotgan qismlaridan sekin harakatlanayotgan qismlarga *impul's* ko`chishi (harakat miqdorining ko`chishi) tufayli biror vaqt o`tgandan keyin gazning butunlay oqish tezligi ham uning hamma qismlarida birday bo`lib qoladi. Bu hodisa *ichki ishqalanish* yoki *qovushoqlik* deb ataladi. Bu holda ham gaz oqish tezligining tenglashishiga uning zarralarining issiqlik harakati sabab bo`ladi. Tajribaning ko`rsatishicha, muvozanatning tiklanishi bu holda ham molekulalar harakati tezligining katta bo`lishidan kutilganidan ko`ra sekinroq bo`lar ekan.

Keltirilgan bu uchala holida ham, garchi ularning hammasi ham molekulalarning tez harakatlanishi tufayli ro`y berishiga qaramay, ko`chish hodisalari shunday sekin amalga oshadi.

Bunday nomuvofiqlikning sababi shundaki, muvozanat tiklanadigan bu hodisalarda faqat molekulalarning harakat tezliklari emas, shu bilan birga ularning o`zaro *to`qnashuvlari* ham muhim rol' o`ynaydi. Bu *to`qnashuvlar* molekulalarning erkin harakatlanishiga *to`sinqilik* qilishi ravshan.



8-rasm.

Boshqacha aytganda, molekulalarning *to`qnashuvlarini* tekshirishda biz ularni qattiq elastik sharlarga o`xshatamiz. Bunday qo`pol (va o`z-o`zidan noto`g`ri) taxmin qilishga molekulalarning haqiqatan ham o`zlarini ko`p jihatdan xuddi qattiq elastik sharchalar singari tutishi asos bo`ladi.

Aslida bu "sharchalar" zaryadlangan zarralar, yadro va elektronlardan tashkil topgan murakkab sistemalar bo`lib, ular orasida molekula "sharchalar" aro masofaga murakkab ravishda bog`liq bo`lgan tortishish va itarishish kuchlari ta`sir qiladi. Garchi bu holda molekulalar "sirtlari" ning tegishishi haqida gapirish

mumkin bo`lmasa-da, biroq molekulalar o`lchamlarini to`qnashish vaqtida molekulalar markazlari orasidagi masofa sifatida ta`riflash mumkin.

Zarralarning to`qnashuvi haqidagi masala fizikada biz ko`rayotgan hol – molekulalarning to`qnashuvi holidan kengroq ahamiyatga egadir. Fizikaning ko`p sohalarida zarralarning bir-biri bilan yoki yorug`lik kvantlarining modda zarralari, chunonchi atom yadrolari bilan o`zaro ta`sirini ko`rishga to`g`ri keladi. Bunday o`zaro ta`sir juda turli oqibatlarga, protsesslarga olib kelishi mumkin. O`zaro ta`sir natijasida, masalan, zarra (yoki yorug`lik kvanti – foton) elastik yoki noelastik sochilishi, uning yutilishi (masalan, ba`zi sharoitlarda neytron o`zi to`qnashgan yadro tomonidan yutilib, yangi sun`iy yadro hosil qilishi), atomni ionlashi va shu kabilar bo`lishi mumkin.

Bu hollarning barchasida protsessni miqdoriy xarakterlash uchun bu protsessning *effektiv kesim yuzi* yoki qisqacha, protsessning kesimi tushunchasi kiritiladi. Bu tushuncha ham xuddi biz kiritgan molekulalarning o`lchamlari haqidagi tushunchaga o`xshash.

ga teng. Bu degan so`z, molekulalarning effektiv ko`ndalang kesimi yuzidan 4 marta kattadir.

### **Vaqt birligidagi o`rtacha to`qnashishlar soni va o`rtacha erkin yugurish yo`li**

Molekulaning gazdag yo`li, shunday qilib, 8-rasmda tasvirlangandagiga o`xshab siniq to`qnashish joyini bildiradi. Molekulaning ikki ketma-ket to`qnashishlar orasida o`tgan masofa molekulaning *erkin yugurish yo`li* deb ataladi.

Gazda molekulalar juda ko`p bo`lgani uchun to`qnashish protsessida biror darajada bo`lsa-da, tartiblilik haqida gapirish mumkin emas, molekulaning zigzag shakldagi yo`lida to`g`ri chiziqli uchastkalarning uzunliklari turlicha bo`lishi mumkin. SHuning uchun bizni *o`rtacha erkin yugurish yo`li* qiziqtiradi. Xuddi shuningdek, molekulaning vaqt birligi ichidagi *to`qnashishlar soni* ham turlicha bo`ladi va demak, bu kattalikning *o`rtacha* qiymati haqidagina gapirishga to`g`ri keladi.

Bu o`zaro bog`langan ikki kattalik – *o`rtacha erkin yugurish yo`li* va vaqt birligi ichidagi *o`rtacha to`qnashishlar soni* – gaz molekulalari to`qnashish protsessining asosiy xarakteristikalaribo`ladi.

Gaz molekulasi vaqt birligi ichida duch keladigan *o`rtacha to`qnashuvlar* sonini juda oddiy mulohazalardan hisoblash mumkin. Molekulalarni  $r$  radiusli qattiq elastik sharchalar deb olamiz.

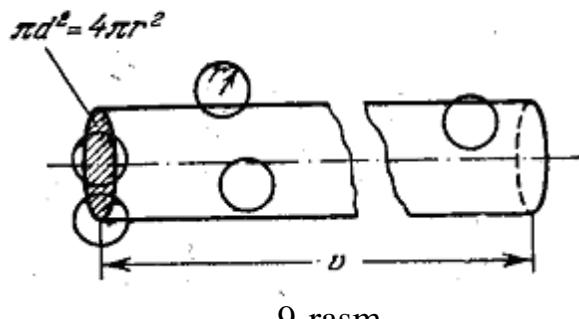
Molekulalardan bittasi zarralar hajm bo`yicha tekis taqsimlangan, ya`ni har bir kub santimetrda  $n$  ta molekula bo`lgan gazda to`g`ri chiziq bo`ylab harakatlanmoqda deylik. Dastlab biz tanlagan yagona molekuladan tashqari barcha molekulalar tinch turibdi deb faraz qilamiz. U holda bizning harakatlanayotgan molekulamiz 1 sek ichida uning *o`rtacha*  $\bar{v}$  tezligiga teng masofani o`tib, o`z yo`lidagi barcha molekulalar bilan to`qnashadi. Bu molekulalar markazlari uzunligi  $\bar{v}$  va asosining yuzi to`qnashish effektiv ko`ndalang kesimiga teng bo`lgan tsilindr hajmida joylashgan molekulalardir (9-rasm). Bu tsilindrning hajmi  $\sigma v$ , undagi molekulalar

soni esa  $\sigma \bar{v}n$  ga teng bo`ladi. Bizning molekulamiz duch keladigan to`qnashuvlar soni  $Z$  ham xuddi shunday bo`ladi:

$$Z = \sigma \bar{v}n. \quad (100)$$

Molekula boshqa molekulalar bilan to`qnashar ekan, u to`g`ri chiziqli harakat qila olmaydi. Molekulalarning tezliklar bo`yicha Maksvell taqsimotini e`tiborga olib, nisbiy tezlik  $\bar{v}_{nis}$  ning absolyut tezlik  $\bar{v}$  bilan quyidagi munosabat bo`yicha bog`langan ekanini ko`rsatish mumkin:

$$\bar{v}_{nis} = \sqrt{2}\bar{v}.$$



9-rasm.

(102)

Gazda vaqt birligi ichida barcha molekulalar duch keladigan to`qnashuvlarning o`rtacha sonini aniqlash uchun  $Z$  ni gazdagagi molekulalar soni  $N$  ga ko`paytirish kerak. Biroq har bir to`qnashuvda ikki molekula qatnashgani uchun (uch va undan ortiq molekulalarning bir paytda to`qnashish ehtimoli kam) bu sonni yana ikkiga bo`lish kerak, shunda har bir to`qnashuvni ikki marta hisoblamagan bo`lamiz. Binobarin,  $N$  ta zarradan iborat bo`lgan gazzagi umumiyligi to`qnashuvlar soni quyidagiga teng bo`ladi:

$$Z' = \frac{NZ}{2} = 2\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n N.$$

SHunday qilib, har bir sekundda gazning *hajm birligidagi* to`qnashuvlar soni quyidagiga teng:

$$Z'' = \frac{nZ}{2} = 2\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n^2,$$

bu yerda  $n$  - hajm birligidagi molekulalar soni.

Bir molekulaning vaqt birligi ichida duch keladigan to`qnashuvlar sonini bilgan holda uning o`rtacha erkin yugurish yo`lini hisoblash oson.

$t$  vaqt ichida molekula  $\bar{v}_t$  ga teng bo`lgan biror siniq chiziqli tarzidagi yo`lni o`tadi. Bu yo`ldagi sinishlar soni qancha bo`lsa, shuncha to`qnashuv ro`y bergen bo`ladi, chunki har bir sinish to`qnashuv tufayli yuz bergen. O`rtacha erkin yugurish yo`li, ya`ni to`qnashuvlar orasidagi to`g`ri chiziqli kesmaning o`rtacha uzunligi  $\lambda$  molekula o`tgan yo`lning shu yo`lni o`tishda u duch kelgan to`qnashuvlar soniga bo`linganiga teng bo`ladi:

$$\lambda = \frac{\bar{v}_t}{Z t} = \frac{\bar{v}}{Z}$$

U holda molekulaning vaqt birligi ichida o`rtacha to`qnashishlar soni uchun shunday ifoda olamiz:

$$Z = \sqrt{2}\sigma \bar{v} n$$

(101)

yoki molekulalarni sharchalar deb hisoblashga shartlashganimiz uchun shunday yozamiz:

$$Z = 4\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n.$$

yoki  $Z$  ning o`rniga uning (102) dagi qiymatini qo`ysak,  $\lambda$  uchun shunday ifodani olamiz:

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n} = \frac{0,057}{r^2 n}. \quad (103)$$

Bu formuladan foydalanib,  $Z$  va  $\lambda$  ning son qiymatlarini topish mumkin. Masalan, havo (azot) uchun normal sharoitlarda (bosim 1 atm, temperatura 273K) shunday hisobni bajaraylik. Azot molekulasining  $r$  radiusini  $1,9 \cdot 10^{-10}$  m, hajm birligidagi zarralar sonini  $n = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ , o`rtacha tezlikni  $\bar{v} \approx 5 \cdot 10^2 \text{ m /sek}$  deb olish mumkin. Bundan

$$Z = 4\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (1,9 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 5 \cdot 10^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{25} \approx 8,6 \cdot 10^9 \text{ sek}^{-1}.$$

Qaralayotgan sharoitlarda molekulaning o`rtacha erkin yugurish yo`li

$$\lambda = \frac{\bar{v}}{Z} \approx 0,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

ga teng bo`ladi.

**Erkin yugurish yo`li uzunligining bosimga bog`liqligi.** (103) formuladan molekulalarning erkin yugurish yo`li ularning hajm birligidagi soniga teskari proportsional ekanligi ko`rinib turibdi, demak, u bosim  $p$  ga ham teskari proportsional bo`ladi va shunday yozish mumkin:

$$\lambda \sim \frac{1}{p}$$

Bosim kamayganda xuddi uning kamayishiga mos ravishda molekulalarning erkin yugurish yo`li uzunligi ortadi.

### **Erkin yugurish yo`li uzunligining temperaturaga bog`liqligi.**

Molekulalarning ko`ndalang kesimlari ularning tezlik (energiya) lariga bog`liq bo`lishini ko`rish oson, chunki o`zaro ta`sir kuchlari birday bo`lganida tez harakatlanayotgan molekulalar sekin harakatlanayotgan molekulalardan kamroq og`adi. SHuning uchun molekulalarning tezliklari qancha katta bo`lsa, ularning og`ishiga sabab bo`luvchi kuch shuncha katta bo`lishi, binobarin, ular to`qnashganlarida oralaridagi masofa shuncha kichik bo`lishi kerak. Bundan molekulalar tezligi ortgani sari, ya`ni gaz temperaturasi ortgani sari molekulalarning ko`ndalang kesim yuzi kamayadi degan xulosa chiqadi. Molekulalarning erkin yugurish yo`li uzunligi  $\lambda$  esa temperatura ortishi bilan ortadi.  $\lambda$  ning temperaturaga bunday zaif bog`liqligi biz quyida ko`radigan ba`zi hodisalarni tushuntirib beradi.

### **Zarraning effektiv ko`ndalang kesimi va ehtimollik**

Molekulaning effektiv ko`ndalang kesimiga birmuncha boshqacha, geometrik bo`limgan ma`no berish mumkin.

Qatlamdagи barcha molekulalarning umumiy kesim yuzini shunday ifodalash mumkin:

$$\Delta S = n \sigma \Delta x \times 1 \text{ sm}^2.$$

Agar gaz shu darajada siyraklashtirilgan bo`lsaki, bunda molekulalar kesimlarining proektsiyalari bir-birini qoplasmaydigan bo`lsa, u holda qatlamga

qarab uchib kelayotgan molekula o`z oldida  $n\sigma\Delta x$  ga teng qismi molekulalar bilan band bo`lgan  $1 \text{ sm}^2$  yuzni “ko`radi”. Agar bu yuz  $1 \text{ sm}^2$  ga teng bo`lganida, ya`ni qatlamning butun yuzini qoplaganda edi, biz ko`zlayotgan molekula qatlamdagi molekulalarning birortasi bilan to`qnashmasdan qola olmas edi.

SHunday qilib, ana shu nisbatga teng bo`lgan  $n\sigma\Delta x$  kattalik molekulaning gazda  $\Delta x$  yo`l davomida to`qnashuvga duch kelish ehtimolligidir.  $1 \text{ sm}$  ga teng yo`l davomida to`qnashish ehtimolligi  $n\sigma$  ga teng bo`lishi, ya`ni hajm birligidagi molekulalar sonining molekulalar effektiv kesim yuziga ko`paytirilganiga teng bo`lishi ravshan. Agar qatlamning qalinligi erkin yugurish yo`li uzunligiga teng bo`lsa, u holda molekula bu yo`lda albatta to`qnashuvga duch kelgan bo`lar edi. Bu degan so`z, bu qatlamdagi barcha molekularning umumiyligi “ko`rinuvchan” kesim yuzi qatlamning yuziga, ya`ni  $1 \text{ sm}^2$  ga teng demakdir:

$$n\sigma\lambda \times 1 = 1 \text{ sm}^2.$$

SHunday qilib, molekularning effektiv ko`dalang kesimi  $\sigma$  molekularning *to`qnashish*(sochilish) *ehtimolligiga* bog`langan bo`lib, sof geometrik ma`noga ega emas ekan. Agar effektiv ko`ndalaang kesim katta bo`lsa, bu molekulaning “katta” ekanligini bildirmaydi, bu faqat to`qnashuv ehtimolligi katta ekanini bildiradi.

### **Mustahkamlash uchun savollar**

1. Ko`chish jarayonlarining elementar kinetik nazariyasi deganda nimani tushunasiz?
2. Molekulyar harakatlar va ko`chish hodisalari haqida ma'lumot bering?
3. Effektiv kesim yuzini tushuntiring.
4. O'rtacha erkin yugurish yo`li uzunligini aniqlash formulasini ayting.
5. Diffuziya va modda ko`chishi deganda nimani tushunasiz?

## 18-Mavzu: Nostatsionar va statsionar diffuziya.

### Reja:

1. Diffuziya hodisasi haqida ma'lumot.
2. Statsionar diffuziya
3. Nostatsionar diffuziya.

**Tayanch so'z va iboralar:** Diffuziya, statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik va nostatsionar diffuziya.

*Bu mavzuda talabalarga gazlardagi ko'chish hodisalaridan biri bo'lgan diffuziya hodisasi, uning turlari va ularning yuzaga kelish shartlari haqida ma'lumotlar beriladi.*

**Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:**

- 1) Diffuziya hodisasi deb nimaga aytildi?
- 2) Fik qonunini ta'riflang.
- 3) Nostatsionar diffuziyada gaz kontsentratsiyasi qanday o'zgaradi?
- 4) Statsionar diffuziya nima?
- 5) Diffuziya koeffitsienti qanday parametrlarga bog'liq?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [4], [5], [6].

### Gazlarda diffuziya

Bir-biriga tegib turgan ikki yoki bir necha moddaning bir-birining ichiga singib o'tish hodisasi diffuziya deb ataladi.

Biror komponentaning kontsentratsiyalar farqi ta'sirida siljishi bu komponentaning *diffuzion oqimi deb ataladi*.

Diffuziya oqimini massa birliklarida ifodalash mumkin. U SI sistema  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sek}$  larda, SGS sistemada  $\text{g}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$  larda o'lchanadi. Uni, shuningdek, mollar soni ( $\text{mol}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ) yoki molekulalar soni ( $\text{molekula}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ) va hokazoda ifodalash mumkin. Ma'lum komponentaning kontsentratsiyasini ham  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{g}/\text{sm}^3$ ,  $\text{mol}/\text{sm}^3$  va hokazolarda ifodalash mumkin.

Protsessda qatnashayotgan sistemaning parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan har qanday protsess *nostatsionar* protsess deb ataladi va bu protsess sistemani xarakterlovchi kattaliklar vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan *statsionar* protsessdan farq qiladi. Kontsentratsiyalarning tenglashishiga olib keluvchi, ya`ni kontsentratsiyalar farqining o'zgarishiga va komponentalarning o'zining kontsentratsiyasini o'zgarishiga olib keluvchi diffuziya *nostatsionar diffuziya* deb ataladi.

**Diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni).** Tajriba biror komponentaning diffuzion oqimi shu komponenta kontsentratsiyasi gradientining teskari ishorasi bilan olingan qiymatiga teng ekanini ko`rsatadi (Fik qonuni).

Koordinatalarga bog`liq bo'lgan biror  $G$  (skalyar) kattalikning gradienti deb bu kattalikning fazoda o'zgarish tezligini xarakterlovchi vektorga aytishini eslatib o'tamiz. Bu vektor  $G$  kattalikning eng tez o'sadigan yo`nalishi tomonga yo`nalgan va son jihatidan shu o'sish jadalligiga teng.

Kelgusida bizni qandaydir bir yo`nalish, masalan,  $X$  o`q bo`ylab o`zgaradigan kattaliklar qiziqtiradi. Bu holda  $G$  gradientning (belgisi:  $\text{grad } G$ ) son qiymati  $x$  o`zgarishi bilan  $G$  kattalikning o`zgarish tezligiga, ya`ni  $\frac{\partial G}{\partial x}$  hosilaga teng biz  $G$  kattalikning faqat  $X$  o`q bo`ylab o`zgaradi deb olganimiz uchun  $\frac{\partial G}{\partial x}$  xususiy hosila o`rniga  $\frac{\partial G}{\partial x}$  to`la hosilani yozish mumkin. SHunday qilib,

$$\text{grad } G = \frac{\partial G}{\partial x},$$

ya`ni  $G$  kattalikning uzunlik birligidagi o`zgarishiga teng.

Agar gaz aralashmasining bizni qiziqtirgan  $q$  komponentning kontsentratsiyasi  $X$  o`q bo`ylab o`zgarsa (boshqa yo`nalishlar bo`ylab o`zgarmay qolgani holda), u holda  $q$  kontsentratsiyaning gradienti deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$\text{grad } q = \frac{dq}{dx}.$$

Binobarin, diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni) shunday ifodalanadi:

$$I = -D \frac{dq}{dx}, \quad (104)$$

bu yerda  $I$  – bizni qiziqtirgan komponentaning  $X$  o`q yo`nalishdagi diffuzion oqim. (104) ning o`ng qismidagi minus ishorasi diffuzion oqimning kontsentratsiya kamayish tomonga qarab yo`nalganligini bildiradi. (104) tenglamadagi  $D$  koeffitsient *diffuziya koeffitsienti* deb ataladi. Uning ma`nosи shuki, u kontsentratsiya gradienti 1 ga teng bo`lgandagi diffuzion oqimning son qiymatiga teng.

Diffuziya koeffitsientining SI sistemada  $\text{m}^2/\text{sek}$  yoki SGS sistemada  $\text{sm}^2/\text{sek}$  birliklarda o`lchanishi ravshan. Haqiqatan ham, diffuzion oqim  $I$  –  $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ sek}$  birliklarida yoki  $\text{g}/\text{sm}^2 \text{ sek}$  birliklarida o`lchanadi; kontsentratsiya  $q$  -  $\text{kg}/\text{m}^3$  yoki  $\text{g}/\text{sm}^3$  larda kontsentratsiya gradienti  $\frac{dq}{dx}$  esa  $\text{kg}/\text{m}^4$  yoki  $\text{g}/\text{sm}^4$  larda o`lchanadi.

Bundan  $D = \frac{1}{dq/dx}$  ning  $\text{m}^2/\text{sek}$  yoki  $\text{sm}^2/\text{sek}$  larda o`lchanishi kelib chiqadi.

(104) tenglamada, albatta, tenglikni har ikki qismidagi modda miqdorini birday birliklarda ifodalash kerak. Bu degan so`z, agar diffuziyalanuvchi komponenta oqimini uning 1  $\text{sm}^2$  yuzdan vaqt birligi ichida o`tuvchi  $M$  massasi (grammlar soni) bilan ifodallasak, u holda  $q$  kontsentratsiya shu komponentaning 1  $\text{sm}^3$  aralashmadagi grammlari soni bilan ifodalanishi kerak; bu holda  $q$  kontsentratsiya komponentaning partsial zichligidan iborat bo`ladi,  $q = \rho$ . Bu holda (104) tenglama shunday ko`rinishga keladi:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx}. \quad (105)$$

Agar diffuziyalanuvchi komponenta oqimini massa bilan emas, 1 sek da  $1\text{sm}^2$  yuzdan o`tuvchi zarralar soni  $N$  bilan ifodalarak, u holda kontsentratsiya  $1\text{ sm}^3$  dagi molekulalar soni bilan ifodalanadi va (104) tenglama quyidagi ko`rinishda yoziladi:

$$N = -D \frac{dn}{dx}. \quad (106)$$

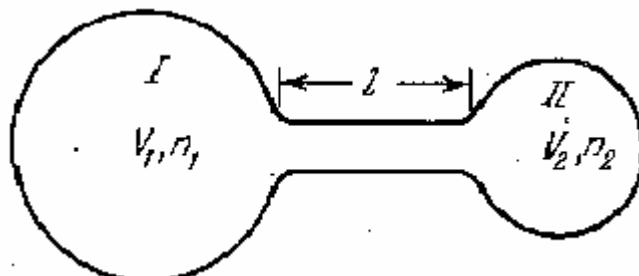
Diffuziya koeffitsienti diffuziyalanuvchi moddaning xossalari va aralashmani tashkil qilgan qolgan komponentalarning xossalariiga bog`liq (bundan so`ng komponentalarni faqat ikkita deb hisoblaymiz). Biroq aralashma kontsentratsiyasi uncha katta bo`lmaganda aralashma kontsentratsiyaga juda zaif darajada bog`liq bo`ladi.

Statsionar diffuziyada kontsentratsiya gradienti o`zgarmay qoladi (vaqt o`tishi bilan o`zgarmaydi). shuning uchun diffuzion oqim ham o`zgarmaydi. nostatsionar diffuziyada kontsentratsiya gradienti o`zgaradi (kontsentratsiya tenglashadi). SHunga muvofiq holda vaqt o`tishi bilan diffuzion oqim ham o`zgaradi.

### Nostatsionar diffuziya

Quyidagi eng oddiy, biroq amalda ro`yobga chiqarish ancha qiyin bo`lgan holda kontsentratsiyalarning tenglashish protsessini, nostatsionar diffuziya protsessini ko`raylik, bu hol protsess mexanizmi haqida ravshan tasavvur beradi.

$V_1$  va  $V_2$  hajmli ikki idish uzunligi  $l$  va ko`ndalang kesimi  $S$  bo`lgan nay bilan o`zaro ulangan hajmda birday bosim va birday temperaturali, biroq turli tarkibdagi gazlar aralashmasi bilan to`ldirilgan bo`lsin (10-rasm).



10-rasm

farqi kamayadi. Bunday kamayishning qanday qonunga muvofiq bo`lishini aniqlaylik. Fik qonunidan diffuzion oqim quyidagicha ifodalaran edi:

$$I = -D \frac{dn}{dx}.$$

Oson bo`lishi uchun biz qiziqayotgan komponentaning kontsentratsiyasi kam deb olaylik. U holda quyidagicha bo`ladi deb aytish mumkin:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{\Delta n}{l}$$

va (106) tenglama shunday ko`rinishga keladi:

$$N = -D \frac{\Delta n}{l}.$$

Diffuziya protsessida diffuziyalanuvchi komponentaning molekulalari  $I$  idishdan  $II$  idishga o`tadi. CHeksiz kichik  $dt$  vaqt oralig`ida  $II$  idishga

diffuziyalangan molekulalar soni quyidagiga teng bo`ladi:

$$dN = -D \frac{\Delta n}{l} S dt \quad (107)$$

(absolyut qiymati jihatidan ayni holda diffuzion oqim  $D \frac{\Delta n}{l}$  ga teng ekanini, ya`ni vaqt birligi ichida birga teng bo`lgan yuz birligida o`tayotgan molekulalar soni ekanini eslatib o`tamiz).

Demak,

$$d(\Delta n) = -D \Delta n \frac{1}{V_0} \cdot \frac{S}{l} dt$$

yoki

$$\frac{d(\Delta n)}{\Delta n} = -D \frac{S}{V_0 l} dt. \quad (108)$$

(108) ni integrallaganimizdan keyin shunday yozamiz:

$$\ln \Delta n = -D \frac{S}{V_0 l} t + \ln A, \quad (109)$$

bu yerda  $A$  – integrallash doimiysi. Bundan

$$\Delta n = A \exp\left(-D \frac{S}{V_0 l} t\right) \quad (110)$$

Agar boshlang`ich, ya`ni  $t=0$  bo`lgandagi kontsentratsiyalar farqi  $\Delta n_0$  ma`lum bo`lsa,  $A$  doimiyni topish oson. Haqiqatan ham (110) ga  $t=0$  va  $\Delta n = \Delta n_0$  ni qo`yib,  $A$  ni shunday yozish mumkin:

$$A = \Delta n_0.$$

U holda

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left(-D \frac{S}{V_0 l} t\right). \quad (111)$$

Bu tenglik kontsentratsiyalar farqining vaqt o`tishi bilan kamayishi qonuni haqidagi savolga javob beradi. Biz ko`rib turibmizki, kontsentratsiyalar farqi vaqt o`tishi bilan eksponentsiyal qonunga ko`ra kamayar ekan va ayni shu tajriba uchun o`zgarmas kattalik bo`lgan

$$D \frac{S}{V_0 l}$$

ning qiymati qancha katta bo`lsa, u shuncha tez kamayar ekan. Bu o`zgarmas kattalikka teskari bo`lgan kattalik

$$\tau = \frac{1}{D} \frac{V_0 l}{s}$$

ning o`lchamligi vaqt o`lchamligi ekanini qayd qilib o`taylik. Uning fizikaviy ma`nosini (111) tenglamadan oson tushunish mumkin, bu formuladan  $t=\tau$  bo`lganida kontsentratsiyalar farqi  $\Delta n$  ning  $\frac{\Delta n_0}{e}$  ga teng bo`lishi, ya`ni dastlabki qiymatiga ko`ra  $e$  marta kamayishi kelib chiqadi. SHunday qilib,  $\tau$  o`zgarmasning

ma`nosi shuki, bu kattalik diffuziyalanuvchi komponentaning kontsentratsiyasi  $e$  marta kamayishi uchun kerak bo`lgan vaqt oralig`iga teng.  $\tau$  kattalik odatda *protsessning vaqt doimiysi* deb ataladi.

Aytaylik, 10-rasmda ko`rsatilgan idishlarning hajmlari teng  $V_1 = V_2 = 1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$  va  $I$  idish azot va kislorodning aralashmasi bilan,  $II$  idish esa sof azot bilan to`ldirilgan bo`lsin. Agar idishlarni bir-biriga ulovchi nayning uzunligi  $l = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m}$  va uning kesim yuzi  $S = 1 \text{ sm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$  bo`lsa, u holda 3-jadvaldan (161-betga q.) atmosfera bosimida kislorodning azotda diffuziya koeffitsientini  $1,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sek}$  deb olib, bizning tajribamiz uchun vaqt doimiysi

$$\tau = \frac{1}{D} \frac{V_0 l}{S} = \frac{1}{1,74 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{10^{-3} \cdot 10^{-1}}{10^{-4}} \approx 1,6 \cdot 10^4 \text{ sek} = 4,4 \text{ soat}$$

ga teng bo`lib chiqishini topamiz. Demak, taxminan 5 soat davomida kontsentratsiyalar farqi arang uch marta kamayar ekan.

### Statsionar diffuziya.

Gaz aralashmasi solingan idishda kontsentratsiyalar farqi  $\Delta n = n_1 - n_2$  o`zgarmas saqlanadigan (demak, gap statsionar protsess haqida boradi)  $X$  o`qiga perpendikulyar  $S$  yuzni olaylik. Aniq bo`lishi uchun  $n_1 > n_2$  deb olamiz. Issiqlik harakati tufayli bizni qiziqtirgan komponentaning molekulalari  $S$  yuz orqali chapdan o`ngga ham, o`ngdan chapga ham o`tadi. YUzning har ikki tomonidagi kontsentratsiyalarining mavjud farqi tufayli  $X$  o`q bo`ylab qandaydir diffuziya oqimi yuzaga keladi, bu oqim ravshanki,  $S$  yuzning  $1 \text{ sm}^2$  ni uning tekisligiga perpendikulyar ravishda 1 sek da  $X$  o`qning musbat qiymatlari yo`nalishida (o`ngga) kesib o`tayotgan  $N_1$  molekulalar soni bilan ana shu yuzni shu vaqt ichida qarama-qarshi yo`nalishda (chapga) kesib o`tayotgan molekulalar soni  $N_2$  orasidagi ayirmaga teng bo`ladi:

$$N = N_1 - N_2.$$

$1 \text{ sm}^2$  yuzni kesib o`tayotgan molekulalar sonini qanday aniqlash kerak. Agar barcha molekulalar  $X$  o`q bo`ylab yo`nalgan birday  $v$  tezlik bilan harakatlanganida edi, u holda  $1 \text{ sm}^2$  yuzni 1 sek da kesib o`tayotgan molekulalar soni  $n v$  ga teng bo`lar edi, bu yerda  $n$  – hajm birligidagi molekulalar soni.

Aslida molekulalarning tezliklar bo`yicha taqsimoti mayjud, biroq biz qo`pol bo`lsa-da, barcha molekulalarning tezligi birday –  $v$  o`rtacha tezlikka teng deb olamiz. SHuningdek, molekulalarning issiqlik tezliklari uchta o`zaro perpendikulyar yo`nalishlar bo`ylab tekis taqsimlangan deb olamiz. Unda hajm birligidagi barcha molekulalarning  $1/3$  qismi  $X$  o`q bo`ylab va bu molekulalarning yarmisi  $X$  o`qning musbat yo`nalishi bo`ylab, ya`ni yuzga qarab va yarmisi qarama-qarshi yo`nalishda – yuzdan uzoqlashish yo`nalishda harakatlanadi.

Binobarin,  $S$  yuzning  $1 \text{ sm}^2$  ni 1 sek ichida chapdan o`ngga kesib o`tuvchi molekulalar soni  $N_1$  va xuddi shu vaqt ichida o`ngdan chapga kesuvchi molekulalar soni  $N_2$  quyidagi munosabatlar bilan ifodalanadi:

$$N_1 = \frac{1}{6} n' \bar{v}, \quad N_2 = \frac{1}{6} n'' \bar{v}.$$

Bu yerda  $n'$  va  $n''$  - molekulalarning  $S$  yuzning bir tomonidagi va ikkinchi tomonidagi kontsentratsiyalari. Diffuziya oqim  $N$ , binobarin, shunday ifoda bilan aniqlanadi:

$$N = N_1 - N_2 = \frac{1}{6}(n' - n'')\bar{v},$$

bu yerda  $n' - n''$  - bir-biridan  $2\lambda$  masofada turgan nuqtalardagi kontsentratsiyalar farqi. Agar kontsentratsiya gradienti farqi qiymati  $\frac{dn}{dx}$  ma`lum bo`lsa, bu farqni aniqlash qiyin emas ( $n$  faqat  $X$  o`q bo`ylab o`zgaradi deb faraz qilamiz, ya`ni  $\frac{\partial n}{\partial x}$  o`rniga  $\frac{dn}{dx}$  deb yozish mumkin).  $\frac{dn}{dx}$  kontsentratsiyalarning bir uzunlik birligidagi farqi bo`lgani uchun  $2\lambda$  masofada bu farq

$$n' - n'' = -2\lambda \frac{dn}{dx}$$

ga teng bo`ladi. Bu formula  $\lambda$  etarlicha kichik bo`lgandagina o`rinli bo`ladi.

SHunday qilib, diffuzion oqim uchun shunday ifodani hosil qilamiz:

$$N = -\frac{1}{3}\lambda \bar{v} \frac{dn}{dx}$$

yoki bu tenglikni har ikki qismini molekula massasi  $m$  ga ko`paytirib yozamiz:

$$M = -\frac{1}{3}\lambda \bar{v} \frac{d\rho}{dx}.$$

Bu ifodani Fik qonunining (105) va (106) tenglamalari

$$N = -D \frac{dn}{dx}, \quad M = -D \frac{d\rho}{dx}$$

bilan taqqoslab diffuziya koeffitsienti uchun bizning qiziqtirgan ifodani olamiz:

$$D = \frac{1}{3}\lambda \bar{v} \quad (112)$$

Biz diffuziya koeffitsienti uchun (112) formulani chiqarishda ana shu narsani nazarga olmadik va biz chiqargan formula gaz molekulalarining ana shu gaz muhitidagi diffuziyasi uchun o`rinlidir. Bu protsess *o`z-o`zidan diffuziyalanish* deb ataladi, (112) formula esa *o`z-o`zidan diffuziyalanish koeffitsientini* ifodalaydi.

Ba`zi gazlarning o`zaro diffuziya koeffitsientlarining qiymatlari 3-jadvalda keltirilgan.

jadval

### Ba`zi gazlar uchun o`zaro diffuziya koeffitsientlari

Gazlar	$D_{12} \cdot 10^5$ , m <sup>2</sup> /sek	Gazlar	$D_{12} \cdot 10^5$ , m <sup>2</sup> /sek
H <sub>2</sub> – O <sub>2</sub>	6,79	CO <sub>2</sub> – H <sub>2</sub>	5,38
O <sub>2</sub> – N <sub>2</sub>	1,74	CO <sub>2</sub> – CO	1,36
CO – H <sub>2</sub>	6,42	H <sub>2</sub> O – CO <sub>2</sub>	0,98
CO – O <sub>2</sub>	1,83	H <sub>2</sub> – D <sub>2</sub> <sup>1</sup>	1,20

<sup>1</sup> D<sub>2</sub> – molekulyar deyteriy (vodorodning molekulyar og`irligi oddiy vodorodnikidan ikki marta katta bo`lgan izotopi).

### Mustahkamlash uchun savollar.

1. Diffuziya hodisasi deganda nimani tushunasiz?
2. Statsionar diffuziyani izohlang?
3. Nostatsionar diffuziya izohlang?
4. O`z-o`zidan diffuziyalanish koeffitsientini izohlang?
5. O`z-o`zidan diffuziyalanish deganda nimani tushunasiz?

### 19-mavzu. Issig'lik o'tkazuvchanik hodisasi. Fur'e qonuni. Statsionar va nostatsionar issig'lik o'tkazuvchanlik.

#### Reja:

1. Issig'lik o'tkazuvchanlik hodisasi.
2. Fur'e qonuni.
3. Statsionar issig'lik o'tkazuvchanlik.
4. Nostatsionar issig'lik o'tkazuvchanlik.

**Tayanch so'z va iboralar:** Issig'lik o'tkazuvchanlik, Fur'e qonuni, Statsionar issig'lik o'tkazuvchanlik, Nostatsionar issig'lik o'tkazuvchanlik.

#### Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi

Agar gaz notekis isitilgan, ya`ni uning bir qismida temperatura ikkinchi qismidagidan baland yoki past bo`lsa, u holda temperaturaning tenglanishini kuzatish mumkin: gazning issiqroq qismi soviydi, sovuqroq qismi esa isiydi.

Ravshanki, bu hodisa gazning issiqroq qismidan sovuqroq qismiga issiqlik oqishi bilan bog`liq bo`ladi. Gazda (yoki har qanday moddada) issiqlik oqimining hosil bo`lishi *issiqlik o'tkazuvchanlik* deb ataladi. O`z holiga qo`yilgan har qanday jismda, xususan, gazda, issiqlik o'tkazuvchanlik temperaturalarning tenglashishiga sabab bo`ladi va bu protsess, albatta, nostatsionar protsessdir. Biroq ko`pincha shunday hollar ham bo`ladiki, bunda temperaturalar farqini sun`iy ravishda o`zgartirmasdan saqlab turiladi.

Gazdagibiror yo`nalish, masalan,  $x$  o`q bo`ylab temperatura nuqtadan nuqtaga, ya`ni  $x$  ning funksiyasi sifatida o`zgarayotgan bo`lsin, bu o`qqa perpendikulyar tekislikda esa u birday saqlanayotgan bo`lsin (11-rasm).

Temperaturaning  $x$  o`q bo`ylab o`zgarishi  $\frac{\partial T}{\partial x}$  temperatura gradienti bilan xarakterlanadi (agar temperatura biz faraz qilganimizdek faqat  $x$  o`q bo`ylab o`zgarayotgan bo`lsa, u holda  $\frac{\partial T}{\partial x}$  o`rniga  $\frac{dT}{dx}$  ni yozish mumkin). Hamma vaqtdagi singari temperatura gradientining ma`nosi shuki, u temperaturaning bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga o`zgarishining bu nuqtalar orasidagi masofa birligiga nisbatiga teng. Diffuziya protsessida shu protsessning amalga oshishi uchun kontsentratsiyalar gradienti bo`lishi shart bo`lgani singari, temperaturalar gradientining mavjudligi ham issiqlik o`zgaruvchanlikning yuzaga kelishining asosiy shartidir.

Tajriba  $Q$  issiqlik oqimi temperatura gradientiga proportsional bo`lishini ko`rsatadi (Fur'e qonuni):

$$Q = -k \frac{dT}{dx}. \quad (113)$$

Issiqlik oqimi deb yuz birligidan vaqt birligida o`tayotgan issiqlik miqdori tushuniladi.



11-rasm.

$Vt / m \cdot K$  birliklarida, SGS sistemasida esa  $erg/sm \cdot sek \cdot K$  birliklarida o`lchanishini ko`rish oson. Texnikada uni ko`pincha  $kJ / m \cdot soat \cdot K$  larda ifodalanadi.

Statsionar sharoitlarda gaz orqali vaqt birligida oqib o`tgan  $Q$  issiqlik miqdori berilgan temperatura gradientini saqlab turgan issiqlik manbaining quvvatiga teng. Bu quvvatni (u ko`pincha elektr quvvati bo`ladi) issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientini eksperimental aniqlashda bevosita o`lchanadi.

Temperatura gradienti bo`lgan gaz o`z holiga qo`yilganda, ya`ni unga tashqaridan energiya berilmaydigan hollarda, issiqlik o`tkazuvchanlik temperaturaning tenglashishiga olib keladi. Dastlab biz ana shunday *nostatsionar* issiqlik o`tkazuvchanlikni ko`ramiz. Temperaturaning tenglashish qonuni diffuziya vositasida kontsentratsiyalarning tenglanishi protsessiga juda o`xshash ekanligini ko`rish mumkin.

### Nostatsionar issiqlik o`tkazuvchanlik

Qaytadan hajmlari mos ravishda  $V_1$  va  $V_2$ , biroq endi biday bosim ostidagi tarkibi bir jinsli bo`lgan gaz bilan to`ldirilgan  $I$  va  $II$  idishlarni ko`raylik (10-rasmga q.). Ikkala idish ko`ndalang kesim yuzi  $S$  va uzunligi  $l$  bo`lgan nay bilan birlashtirilgan. Vaqtning biror paytida biz ko`rayotgan idishlardagi gazning temperaturalari  $T_1$  va  $T_2$  ga teng bo`lsin, aniq bo`lishi uchun  $T_1 > T_2$  deb olamiz.

Agar gazni o`z holiga qo`yilsa, u holda issiqlik o`tkazuvchanlik tufayli ikkala idishda gazning temperaturasi tenglasha boshlaydi, ya`ni temperaturalar farqi

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

vaqt o`tishi bilan kamayadi. Bu protsessni “temperatura diffuziyasi” deb atash mumkin edi. Holbuki bu yerda haqiqiy ma`nodagi diffuziya ham bo`ladi. Chunki idishlardan biridagi temperatura boshqasidagidan yuqori bo`lsa, u holda bu temperatura yuqori bo`lgan idishda tez molekulalar ko`proq ekanligini anglatadi, chunki temperatura molekulalarning o`rtacha kinetik energiyalari orqali aniqlanadi va katta tezlikli molekulalar qancha ko`p bo`lsa, temperatura shuncha yuqori bo`ladi. Issiqlik o`tkazuvchanlik protsessida bu tezroq zarralarning diffuziyasi ro`y beradi va u issiqlik o`tkazuvchanlik protsessida muhim rol’ o`ynaydi.

Endi temperaturalar farqining vaqtga bog`liq holda kamayish qonunini topaylik. (113) ga muvofiq, nay orqali o`tgan issiqlik oqimi

(113) tenglikdagagi  $k$  koeffitsient issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsienti deb ataladi. (113) dan ko`rinib turganidek, issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientining son qiymati temperatura gradienti birga teng ( $1 K/sm$ ) bo`lgandagi issiqlik oqimiga teng. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientining SI sistemasida  $J/m \cdot sek \cdot K$  yoki

$$Q = -\nabla \frac{dT}{dx}$$

tenglama bilan aniqlanadi. Mulohazalarimiz soddaroq bo`lishi uchun birlashtiruvchi nay bo`ylab temperatura tekis o`zgaradi va uning ixtiyoriy uzunlik birligiga birday temperaturalar farqi mos keladi deb olaylik. U holda cheksiz kichik kattaliklardan foydalanish zarurati qolmaydi va shunday yozish mumkin bo`ladi:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{l}, \quad Q = -\nabla \frac{\Delta T}{l}.$$

CHeksiz kichik  $dt$  vaqt oralag`ida  $I$  idishdan  $II$  idishga nay orqali quyidagi issiqlik miqdori o`tadi:

$$dQ = -\nabla \frac{\Delta T}{l} S dt. \quad (114)$$

Buning natijasiga  $I$  idishdagi gz temperaturasi biror  $dT_1$  miqdor kamayadi,  $II$  idishda esa  $dT_2$  miqdor ortadi. Issiqlik miqdori va temperaturaning o`zgarishi orasidagi bizga ma`lum bo`lgan bog`lanish munosabatlaridan

$$dT_1 = \frac{dQ}{m_1 c_v}, \quad dT_2 = \frac{dQ}{m_2 c_v}$$

bo`lishi ravshan, bu yerda  $m_1$  va  $m_2$  - mos ravishda  $I$  va  $II$  idishlardagi gaz massalari;  $dT_1$  va  $dT_2$  - temperatura o`zgarishlarining absolyut qiymatlari.

Agar idishlardagi gazning zichligi  $\rho$  bo`lsa, u holda

$$m_1 = \rho V_1, \quad m_2 = \rho V_2$$

bo`ladi va bundan

$$dT_1 = \frac{dQ}{\rho V_1 c_v}, \quad dT_2 = \frac{dQ}{\rho V_2 c_v}.$$

Temperaturaning  $I$  idishda  $dT_1$  ga kamayish va  $II$  idishda  $dT_2$  ga ortishi ular orasidagi temperaturalar farqini quyidagi

$$d(\Delta T) = dT_1 + dT_2 = \frac{dQ}{\rho c_v} \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) = \frac{dQ}{\rho c_v} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2}$$

kattalikka kamayishiga olib keladi. Bunga  $dQ$  ning (114) dagi qiymatini qo`yib, quyidagini olamiz:

$$d(\Delta T) = -\frac{\nabla S \Delta T}{l \rho c_v} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} dt.$$

Avvalgidek  $\frac{V_1 V_2}{V_1 + V_2}$  keltirilgan hajmni  $V_0$  orqali belgilaymiz. U holda

$$d(\Delta T) = -\frac{\nabla S \Delta T}{l \rho c_v V_0} \text{ yoki } \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\frac{\nabla S}{l \rho c_v V_0} dt.$$

Bu tenglamani integrallab, quyidagini olamiz:

$$\ln \Delta T = -\frac{\nabla S}{l \rho c_v V_0} t + \ln A, \quad (115)$$

bu yerda  $A$  – integrallash doimiysi. Bu doimiy temperaturalar farqi boshlang`ich paytda, ya`ni  $t=0$  da  $(\Delta T)_0$  ga teng degan mulohazadan oson aniqlanishi

mumkin, binobarin, (115) ga  $t=0$  va  $\Delta T = (\Delta T)_0$  larni qo`yib,  $A = (\Delta T)_0$  ekanini keltirib chiqaramiz. Demak,

$$\Delta T = (\Delta T)_0 \exp\left(-\frac{\kappa S}{l \rho c_v V_0} t\right). \quad (116)$$

(116) tenglama vaqt o`tishi bilan temperaturaning issiqlik o`tkazuvchanlik vositasida tenglanishiga doir bizni qiziqtirgan qonunni ifodalaydi. Bu qonun kontsentratsiyaning diffuziya vositasida tenglashish qonuni (111) ga tamomila o`xshashdir. Ikkala holda ham tenglashish eksponentsiyal qonunga muvofiq amalgalashadi.

Agar (116) ni (111) bilan taqqoslasak

$$\Delta n = (\Delta n)_0 \exp\left(-D \frac{S}{V_0 l} t\right),$$

bu holda agar  $\frac{\kappa}{\rho c_v} = D$  deb olinsa, ikkala tenglamaning o`ng qismidagi eksponentsiyal ko`paytiruvchilar mos kelishi ko`rinadi. Demak,  $\frac{\kappa}{\rho c_v}$  ifoda “temperatura diffuziyasi” koeffitsienti ekan.  $\frac{\kappa}{\rho c_v}$  kattalik gazning xossalariiga bog`liq bo`lib, temperaturaning tenglashish tezligini xarakterlaydi. SHuning uchun bu kattalik gazning (har qanday boshqa jismning ham) *temperatura o`tkazuvchanlik koeffitsienti* nomini olgan.

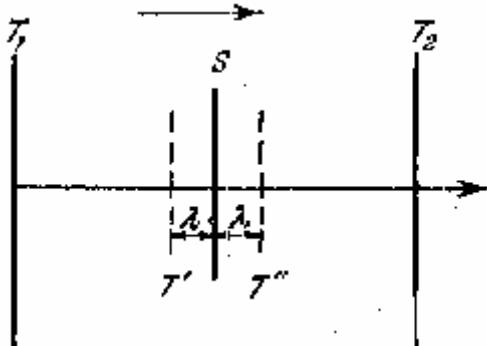
$\frac{S}{V_0 l}$  ko`paytuvchi sof geometrik kattalik bo`lib, faqat apparaturani xarakterlaydi. Temperatura o`tkazuvchanlik koeffitsienti ham diffuziya koeffitsienti singari  $\text{m}^2/\text{sek}$  larda ifodalanishini aniqlash qiyin emas. Diffuziyani ko`rganimizdagi singari, bu yyerda ham issiqlik o`tkazuvchanlik *vaqt doimiyisini* kiritamiz:

$$\tau = \frac{\rho c_v}{\kappa} \frac{l V_0}{S}.$$

Bu shunday vaqt oralig`iki, uning davomida gazning issiqlik o`tkazuvchanligi natijasida ikki hajm orasidagi temperaturalar farqi e marta kamayadi.

**Statsionar issiqlik o`tkazuvchanlik. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientini hisoblash.**

Gaz molekulalarining issiqlik harakati tufayli gaz egallagan hajmdagi har qanday kesimni molekulalar kesib o`tadi. Avval ko`rganimizdek, temperaturalar farqi o`zgarmas saqlanadigan (statsionar protsess)  $X$  o`qqa perpendikulyar biror  $S$  yuzni ko`raylik (12-rasm).  $T_1$  temperaturani  $T_2$  ga nisbatan katta deb qabul qilamiz.



12-rasm.

Avvalgidek,  $1 \text{ sm}^2$  yuzni 1 sek ichida chapdan o`ngga kesib o`tayotgan molekulalar soni  $N_1$  ni  $\frac{1}{6}n\bar{v}$  ga teng deb hisoblash mumkin. Xuddi shuningdek, o`ngdan chapga ham molekulalar o`tadi, bu yerda ham  $N_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}$  ga teng. Bu yerda  $\bar{v}$  - molekulalar issiqlik harakatining o`rtacha tezligi va  $p$ -hajm birligidagi molekulalar soni.  $N_1$  va  $N_2$  molekulalar sonining teng ekanini, biroq ular olib keladigan energiyaning har xil ekanini hozirgina qayd qilib o`tdik. endi shu energiyalarni topaylik.

Bu molekulalarning 1 sek da  $1 \text{ sm}^2$  yuzga olib kelayotgan energiya miqdori

$$Q_1 = \frac{1}{6}n\bar{v}U_1$$

ga teng.

Xuddi shunga o`xshash o`ngdan kelayotgan molekulalarning olib kelayotgan energiya miqdori ham

$$Q_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}U_2$$

ga teng, bu yerda  $U_2$  — molekulalarning yuzdan  $\lambda$  masofada o`ngda bo`lgan nuqtadagi  $T''$  temperaturaga mos energiyasi. Binobarin,  $1 \text{ sm}^2$  yuzdan 1 sek da oqib o`tayotgan natijaviy energiya miqdori quyidagiga teng:

$$Q = Q_1 - Q_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}(U_1 - U_2),$$

bu yerda  $U_1$  va  $U_2$  — bir-biridan  $2\lambda$  masofada bo`lgan nuqtalardagi  $T'$  va  $T''$  temperaturalarga mos bitta molekula energiyasining o`rtacha qiymatlari.

Bir molekulaning o`rtacha energiyasi  $U$  temperaturaga proportsional va uni gazning issiqlik sig`imini  $C_v$  orqali ifodalash mumkin.

Haqiqatan ham, molekulaning o`rtacha energiyasi  $\frac{i}{2}kT$  ga teng, bu yerda  $i$  - erkinlik darajalari soni. Ikkinci tomondan, gazning molyar issiqlik sig`imi  $C_v = \frac{i}{2}R = \frac{i}{2}kN_0$ , bu yerda  $N_0$  - Avogadro soni. Binobarin,

$$U = \frac{i}{2}kT = \frac{C_v}{N}T,$$

shuning uchun  $Q$  ning ifodasini shunday yozish mumkin:

$$Q = \frac{1}{6}n\bar{v}\frac{C_v}{N_0}(T' - T'').$$

Yuzdan har ikki tomondagi  $\lambda$  masofada bo`lgan nuqtalar orasi-dagi temperaturalar farqi  $T' - T''$  ni temperatura gradienti qiymatidan aniqlash qiyin emas:

$$T' - T'' = -2\lambda \frac{dT}{dx},$$

chunki temperatura gradienti  $\frac{dT}{dx}$  temperaturaning uzunlik birligidagi o`zgarishidir. Minus ishorasi  $x$  ning ortishi bilan  $T$  ning pasayishini ko`rsatadi. Bundan

$$Q = \frac{1}{3} n \bar{v} \frac{C_v}{N_0} \frac{dT}{dx}. \quad (117)$$

(117) va (113) larni o`zaro taqqoslab issiqlik - o`tkazuvchanlik koeffitsientining ifodasini olamiz:

$$\aleph = \frac{1}{3} n \bar{v} \lambda \frac{C_v}{N_0}. \quad (118)$$

Agar  $\tilde{N}_v = \mu c_v$  ekanligini nazarga olsak (bu yerda  $c_v$  — solish-tirma issiqlik sig`imi,  $\mu$  — molekulyar og`irlik va  $\frac{\mu}{N_0} = m$  — bir molekulaning massasi), u holda

(118) formulani shunday qayta yozish mumkin:

$$\aleph = \frac{1}{3} m n \bar{v} \lambda c_v = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda c_v \quad (119)$$

bu yerda  $\rho$  — gazning  $m n$  ga (molekula massasining hajm birligidagi molekulalar soniga ko`paytmasiga) teng bo`lgan zichligidir.

(118) va (119) ifodalar gaz issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientining taxminiy qiymatini beradi, chunki bu formulalardagi ko`paytuvchi son hisoblashlarda qilingan farazlarga bog`liq va taxminan  $\frac{1}{3}$  ga teng. Bu ko`paytuvchini aniq hisoblash juda qiyin.

### Mustahkamlash uchun savollar

1. Issig’lik o`tkazuvchanlik hodisasini izohlang?.
2. Fur’e qonuni deganda nimani tushunasiz?
3. Statsionar issig’lik o`tkazuvchanlik qanday hodisa?
4. Nostatsionar issig’lik o`tkazuvchanlik hodisasini izohlang?
5. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsienti deganda nimani tushunasiz?
6. Temperatura o`tkazuvchanlik koeffitsientini qanday aniqlanadi?
7. Temperatura gradient deganda nimani tushunasiz?
8. Issiqlik o`tkazuvchanlik vaqt doimiysi deganda nimani tushunasiz?

## 20-Mavzu: Qovushoqlik. Ko'chish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish.

### Reja:

1. Qovushoqlik haqida ma'lumot.
2. Ko'chish koeffitsientlari haqida tushuncha.
3. Ko'chish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish.

**Tayanch so' va iboralar:** Ichki ishqalanish, ichki ishqalanish koeffitsienti, qovushoqlik, ko'chish koeffitsienti, zichlik, impuls, tezlik gradient.

*Bu mavzuda talabalarga gazlarda ro'y beradigan ichki ishqalanish, uning mazmuni, ichki ishqalanish koeffitsienti, shuningdek uni o'lchash usullari, ko'chish koeffitsientlari orasidagi munosabatlar haqida ma'lumotlar beriladi.*

**Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:**

- 1) Gazlarda qovushqoqlik qanday yuzaga keladi?
- 2) Ichki ishqalanish koeffitsientining fizik mazmunini aytib bering.
- 3) Ichki ishqalanish kuchi formulasidagi minus ishora qanday mazmunga ega?
- 4) Ichki ishqalanish koeffitsienti tajribada qanday aniqlanadi?
- 5) Ko'chish koeffitsientlarini bir-biri bilan o'zaro bog'lanish formulalarini yozing va ularni tushuntirib bering.

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [4], [5], [6].

### Gazlarning qovushqoqligi (ichki ishqalanish)

Gazlarning (shuningdek, suyuqliklarning ham) qovushqoqligi ularning shunday xossasiki, bu xossa tufayli gazning turli qatlamlarining harakat tezliklari tenglashadi. Masalan, shamol yoki bo`ronning vaqt o'tishi bilan to`xtashi (so`nishi) gazlarning ana shu xossasi tufayli ro'y beradi. Agar gaz qo'shni qatlamlarining tezliklari turlicha bo`lsa, harakat tezligi katta bo`lgan qatlamdan kichik tezlik bilan harakatlanayotgan qatlama impuls (harakat miqdori) uzatilishi tufayli bu qatlamlarning tezliklari tenglashadi.

Bunday oqishda impuls gazning tezligi eng katta bo`lgan markaziy qatlamidan kichik tezliklar bilan harakatlanayotgan qatlam oqimlariga beriladi. Bu protsess harakat miqdorining o`zgarishi bilan bog`liq bo`lgani sababli gaz o`zini xuddi unga biror kuch (ichki ishqalanish kuchi) ta`sir qilayotgandek tutadi.

X o`qqa perpendikulyar yo`nalishda harakat tezligi barcha nuqtalarda birday bo`ladi, ya`ni  $v$  tezlik faqat  $x$  ning funksiyasidir. Bunda tajribaning ko`rsatishicha,  $X$  o`qqa perpendikulyar  $1 \text{ sm}^2$  yuzdan  $1 \text{ sek}$  ichida olib o`tilgan harakat miqdori  $L$  shunday tenglama bilan aniqlanadi:

$$L = -\eta \frac{dv}{dx}, \quad (120)$$

bu yerda  $\frac{dv}{dx}$  - tezlikning  $X$  o`q bo`ylab gradienti bo`lib, tezlikning bu o`q bo`ylab o`zgarish suratini (tezlikning har bir uzunlik birligiga to`g`ri kelgan o`zgarishini) bildiradi. Minus ishorasi impulsning tezlik kamayayotgan yo`nalishda ko`chishini bildiradi.

$\eta$  koeffitsient gazning *qovushqoqlik koeffitsienti* yoki gazning *ichki ishqalanish* koeffitsienti deb ataladi, bu koeffitsient ham diffuziya va issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsientlari singari gazning xossasiga bog`liq bo`ladi. Ba`zida (120) tenglama bilan aniqlangan  $\eta$

koeffitsient dinamik qovushoqlik koeffitsienti deb ataladi va bu jihatdan  $\frac{\eta}{\rho}$  nisbatga teng bo`lgan kinematik qovushoqlik koeffitsentidan farq qilinadi, bu yerda  $\rho$  - gazning zichligi (bu kattalik to`g`risida quyidagi ma`lumot olasiz.).

Qovushoqlik koeffitsientining fizikaviy ma`nosi shundan iboratki, son jiqtidan u tezlik gradienti birga teng ( $1\text{sm}$  uzunlikka  $1\text{sm/sec}$ ) bo`lganda  $1 \text{ sm}$  yuzdan  $1 \text{ sek}$  ichida shu yuzga perpendikulyar yo`nalishda ko`chirib o`tilgan harakat miqdoriga teng.

SI birliklar sistemasida qovushoqlik birligi uchun shunday modda (gaz) ning qovushoqlik koeffitsienti olinadiki, unda tezlik gradienti birga teng ( $1\text{sek}^{-1}$ ) bo`lganda  $1 \text{ m}^2$  yuzdan  $1 \text{ sek}$  da  $1 \text{ kg}\cdot\text{m/sec}$  harakat miqdori ko`chiriladi. Demak, qovushoqlik koeffitsienti  $\text{kg/m}\cdot\text{sek}$  hisobida o`lchanadi. SGS sistemasida qovushoqlik koeffitsienti  $\text{g/sm}\cdot\text{sek}$  hisobida o`lchanadi. Bu birlik *puaz* deb ataladi. Kinematik qovuqoklik koeffitsienti shunga mos ravishda  $\text{m}^2/\text{sek}$  va  $\text{sm}^2/\text{sek}$  larda o`lchanadi.  $\text{sm}^2/\text{sek}$  birlik *stoks* deb ataladi.

Demak, qovushoqlik shunga olib keladiki, gazning biror qo`shni qatlamga nisbatan harakatlanayotgan ixtiyoriy qatlamiga biror kuch ta`sir qiladi.

Bu kuch turli tezliklar bilan harakatlanayotgan gaz qatlamlari orasidagi ishqalanish kuchidir. SHuning uchun uni *ichki ishqalanish* deb yuritiladi. (120) ni shunday ko`rinishda yozish mumkin:

$$F = -\eta \frac{dv}{dx}, \quad (120-a)$$

bu yerda  $F$  - gazning ikki qo`shni qatlamlarni ajratib turgan sirt birligiga ta`sir qiluvchi kuch. Qovushoqlik koeffitsienti tezlik gradienti birga teng bo`lganda yuz birligiga ta`sir qiluvchi kuchga son jihatidan teng.

Ichki ishqalanish sababli gaz (yoki suyuqlik) ning trubadan oqishi uchun biror bosimlar farqi kerak bo`ladi. Oqim tezligi biror berilgan qiymatga ega bo`lishi uchun ichki ishqalanish koeffitsienti qancha bo`lsa, bosimlar farqi ham shuncha katta bo`lishi kerak.

Truba kesimidan vaqt birligida oqib o`tuvchi gaz hajmi  $V$  va buning uchun kerak bo`lgan bosimlar farqi  $\Delta p$  orasidagi bog`lanish Puazel formulasi

$$V = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l}$$

bilan aniqlanadi, bu yerda  $l$  - trubaning uzunligi va  $R$  - uning radiusi.

Bu formuladan foydalanib, biror vaqt oralig`ida trubadan oqib o`tgan gaz hajmini, truba uchlariagi bosimlar farqini va trubaning geometrik o`lchamlarini o`lchagan holda, gazning qovushoqlik koeffitsientini aniqlash mumkin.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Ichki ishqalanish deganda nimani tushunasiz?
2. Ichki ishqalanish koeffitsientini izohlang?
3. Qovushoqlik deganda nimani tushunasiz?
4. Qovushoqlik koeffitsienti nima va qanday aniqlanadi?
5. Ko'chish koeffitsientini izohlang?
6. Tezlik gradienti deganda nimani tushunasiz?
7. Ichki ishqalanish kuchi qanday aniqlnadi?
8. Puazel formulasini izohlang?
9. SGS sistemasida qovushoqlik koeffitsientining birligi nima?
10. Puaz qaysi kattalikni birligi?
11. Stoks qanday tushuncha?
12.  $L = -\eta \frac{dv}{dx}$  ifodadagi minus ishorani fizik ma'nosini tushuntiring?

## **21-Mavzu: Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarning suyulishi. Eksperimental izotermalar.**

### **Reja:**

1. Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari
2. Gazlarning suyulishi hodisasi ha'qida ma'lumot.
3. Eksperimental izotermalar.

**Tayanch so'z va iboralar:** Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarning suyulishi.

### ***Molekulalararo kuchlar***

Molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlar asosan elektr kuchlaridan iborat bo'ladi. Oddiy bir atomli molekula musbat zaryadli yadrodan iborat bo'lib, uni manfiy zaryadlangan elektron qobiq o'rab turadi. Bunday molekula odatda elektr dipoldek bo'ladi: bir-biridan ma'lum masofada joylashgan turli ishorali zaryadlar sistemasi. Nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi va boshqa zaryadlar orasida o'zaro ta'sir kuchi masofa kvadratiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi. Dipol maydoni kuchlanganligi masofa kubiga proporsional ravishda o'zgaradi. Ko'p atomli molekulalar o'zini dipol kabi emas, balki murakkab elektr sistema-kvadrupol kabi bo'ladi. Bunday sistema kuchlanganligi masofa ortishi bilan dipolga nisbatan tezroq o'zgaradi. Ikkita molekula orasidagi masofa  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  sm bo'lsa, ular orasida o'zaro tortishish va itarishish kuchlari mavjud bo'ladi. Xuddi mexanikadagi tortish kuchi va energiyadagidek molekulalar orasidagi tortishish kuchi manfiy, molekulalar orasidagi itarishish kuchlari musbat deb qabul qilindi. Shunga asosan tortilayotgan zaryadlar potensial energiyasi manfiy, itarilayotgan zaryadlar potensial energiyasi musbat bo'ladi.

Tortish kuchlarining masofaga bog'liqlik formulasi

$$F_1 = -\frac{A_1}{r^{x_1}} \quad (1)$$

Shuningdek, itarishish kuchlarining masofaga bog'liqlik formulasi

$$F_2 = \frac{A_2}{r^{x_2}} \quad (2)$$

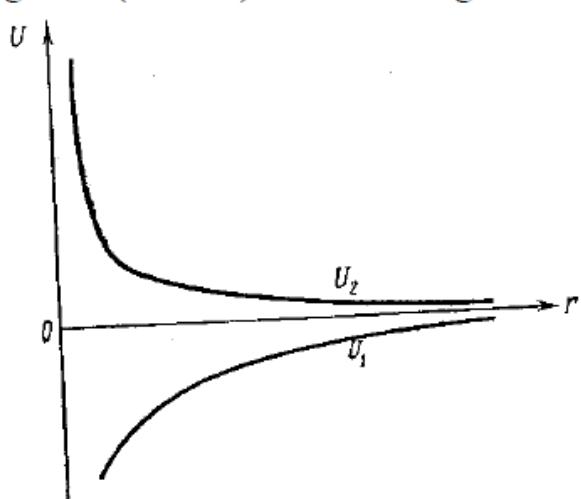
Kulon qonuniga asosan xususiy hollarda nuqtaviy zaryadlar  $X_1=X_2=2$  bo'ladi.

(1) va (2) ifodalarni integrallab, potensial energiya qiymatlarini hosil qilamiz:

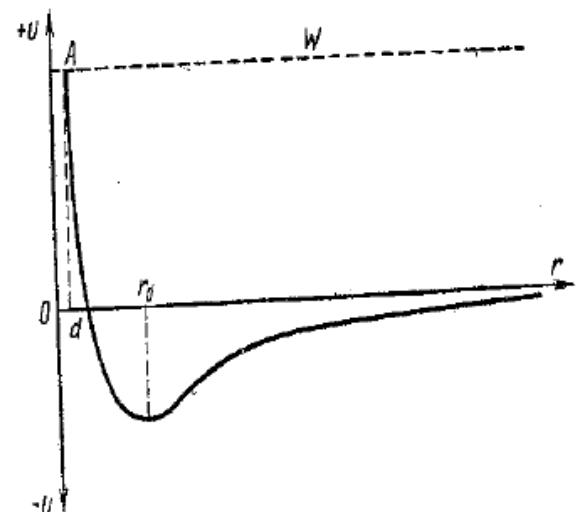
$$U_1 = -\frac{A^1}{r^{x_1-1}}; \quad U_2 = \frac{A^{11}}{r^{x_2-1}} \quad (3)$$

Masofa o'zgarishi bilan molekulalar orasidagi itarishish kuchlari tortishish kuchlaridan ko'ra tezroq o'zgaradi. Bu (1) ifodadagi  $X_1$  darajada ko'rsatkich (2) ifodadagi  $X_2$  daraja ko'rsatkichdan kichik bo'ladi. Demak yaqinlashayotgan molekulalar orasidagi itarishishning musbat potensial energiyasi  $U_2$  masofaga nisbatan tortishishning manfiy potensial energiyasidan tezroq o'zgaradi (2-rasm).

Ikkita molekuladan iborat sistemaning to'liq potensial energiyasi musbat  $U_2$  va manfiy  $U_1$  erengiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu yig'indi (3-rasm) da tasvirlangan.



2-rasm. Molekulalar tortishish va itarishish energiyalarining ular orasidagi masofaga bog'liligi.



3-rasm. Molekulalar to'liq energiyasining ular orasidagi masofaga bog'liligi.

$r_0$  masofada molekula markazlari orasidagi o'zaro tortishish va itarishish kuchlari bir-biriga teng va bu sistemaning minimum potensial energiyasiga mos keladi. Keyingi yaqinlashishlarda molekulalar orasidagi itarishish kuchlari juda tez oshadi. Bunda potensial energiya egriligi musbat oblast tomonga o'tib, yuqoriga ko'tariladi. Musbat potensial energiya oshishi yaqinlashishgacha bo'lган ikki molekuladagi kinetik energiya hisobiga bo'ladi.

Molekulalar katta mumkin bo'lган masofada yaqinlashganda, kinetik energiya to'liq potensial energiyaga o'tadi, u holda molekula markazlari orasidagi masofa  $d$  ga teng bo'ladi.  $W$  chiziq sistemaning to'liq energiyasini ifodalaydi.

Demak, real gaz molekulalarining to'qnashish mexanizmi ideal gazlardagidek to'g'ri elastik to'qnashish emas, ya'ni real gaz molekulalari masofada o'zaro ta'sirlashadi.

Modda va jism molekulalari orasida, ularning qanday agregat holatda bo‘lishlaridan qat’iy nazar tortishish va itarishish kuchlari kombinatsiyasidan iborat bo‘lgan o‘zaro ta’sir kuchlari mavjuddir.

Zarralar tortishishisiz jism butun bo‘lmaydi, itarishisiz esa ular diskret strukturaga ega bo‘lmaydilar.

Nazariy va eksperimental tekshirishksr natijalari shuni ko‘rsatdiki, molekulalararo o‘zaro ta’sir kuchi zarralar orasidagi masofaga teskari proporsional.

$$F_{tort} = -\frac{b}{r^n}, \text{ tortishish kuchlari,}$$

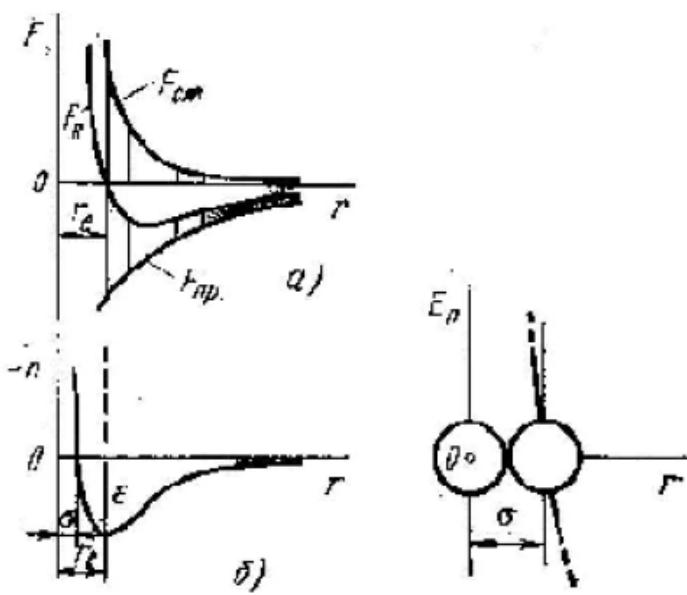
$$F = \frac{a}{r^m}$$

, itarishish kuchlari, bu erda  $r$ -zarralar orasidagi masofa,  $a, b, m, n$  – berilgan modda uchun doimiylar,  $m > n$ . Bunda  $n$  ko‘pgina hollarda 6,7,8 qiymatlarga,  $m$  esa 9 dan 15 gacha qiymatlarga teng bo‘ladi. Shunday qilib, zarra molekulalari orasidagi o‘zaro ta’sir kuchi molekulalar orasidagi masofa o‘sishi bilan kamayar ekan, ayniqsa, itarishish kuchlari tez kamayadi.

Tortishish va itarishish kuchlarining mavjudligi moddaga teng ta’sir etuvchi molekulalararo o‘zaro ta’sir kuchi ( $F_R$ ) mavjudligini bildiradi. Agar itarishish kuchlarini musbat deb, tortishish kuchlarini manfiy deb olsak, teng ta’sir etuvchi molekulalararo o‘zaro ta’sir kuchi  $F_R = F_{itar} - F_{tort}$  ga teng bo‘ladi:

$$F_R = \frac{a}{r^m} - \frac{b}{r^n}$$

29,a- rasmda tortishish va itarishish kuchlarining zarralar orasidagi masofaga bog‘liqligi keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki,  $m \neq n$  ligidan  $F_R$  simmetrik emas.  $r=r_e$  masofada molekulalar orasidagi teng ta’sir etuvchi kuch 0 ga teng.



29-rasm

$F_{itar} = F_{tort}$  ga teng bo'lgan  $r_e$  masofa **muvozanat masofasi** deyiladi.

Molekulalar orasidagi muvozanatlari bu masofa  $3 \cdot 10^{-10} m$  ga teng. Agar  $r < r_e$  bo'lsa, itarishish kuchlari ustun keladi ( $F_R > 0$ ), agar  $r > r_e$  bo'lsa, tortishish kuchlari ustun bo'ladi ( $F_R < 0$ ).  $r = 1,5 \cdot 10^{-9} m$  bo'lganda molekulalararo o'zaro ta'sir yo'qoladi ( $F_R \rightarrow 0$ ). Bu masofa **molekulalararo ta'sir sferasi radiusi** deyiladi. Shunday ekan, molekulalararo o'zaro ta'sir molekulaning o'zini o'lchamiga teng bo'lgan masofada yuzaga kelar ekan.

1. Molekulalarning o'zaro ta'siri tortishish va itarishishdan iborat.
2. Molekulalar orasidagi masofaning kamayishi itarishish kuchlarining oshishiga olib keladi.
3. O'zaro ta'sirlashuvchi molekulalarning joylashuvi, tortishish va itarishish kuchlarining tengligiga mos keladi.
4. Itarishish va tortishish kuchlari bir vaqtida ta'sir etadi, masofaning ortishi bilan juda tez kamayadi va  $10^{-9} m$  masofada deyarli yoqoladi.

### ZARRALAR O'ZARO TA'SIR POTENSIAL ENERGIYASI

Markazlari orasidagi masofaga bog'liq bo'lgan ikki molekula tizimi energiyasi *o'zaro ta'sir potensial energiyasi* deyiladi. Molekulalar bir-biridan cheksiz uzoqlashganda ular orasidagi o'zaro ta'sir yoqoladi. Shuning uchun molekulalar potensial energiyasi cheksizlikda 0 ga teng. Potensial energiya molekulalar orasidagi masofa  $r$  dan  $\infty$  gacha o'zgarishida  $F$  kuch bajargan ish bilan

o‘lchanadi.

29-rasmda ikki molekulaning potensial energiyasining bog‘liqligi keltirilgan. Molekulalarning biri  $0$  nuqtada joylashgan bo‘lib, harakatsizdir. Ikkinchisi  $0r$  o‘qi bo‘ylab harakatlanadi.

Agar molekula  $r > r_e$  masofada bo‘lsa, ular tortishish kuchlsri ishi evaziga yaqinlashadilar. Molekulalarning potensial energiyasi kamayib,  $r = r_e$  da minimal qiymatga ( $E_m$ ) ega bo‘ladi. Bu nuqtada molekulalar orasidagi teng ta’sir etuvchi kuch  $0$  ga teng. Bu tizim muvozanat holatida ekanligini bildiradi va ikkala molekula tizimsi potensial energiyasi minimumga teng. Eng kichik potensial energiya molekulalarning bog‘lanish energiyasi ( $\varepsilon$ ) deyiladi:  $E_m = \varepsilon$ .

Bog‘lanish energiyasi ( $\varepsilon$ ) tashqi kuchlar ta’sirida molekulalar orasidagi bog‘lanishni buzish kerak bo‘lgan ishga teng. Molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir qanchalik kichik bo‘lsa, bog‘lanish energiyasi shunchalik katta bo‘ladi. Shuning uchun bog‘lanish energiyasi qattiq jismlarda juda katta, suyuqliklarda unchalik sezilarli emas, gazlarda esa kichik bo‘ladi.

Molekulalarning eng katta yaqinlashishi  $r = \sigma$  masofada sodir bo‘lib, bu masofa molekulalar to‘qnashishining effektiv diametri deyiladi. Bu masofa molekulalarning haqiqiy o‘lchamini aniqlamasada, boshqa molekula kira olmaydigan ( $\sigma/2$ ) sohaning chiziqiy o‘lchamini aniqlaydi.

$F(r)$  va  $E_p(r)$  egri chiziqlari simmetrik emas.

$r = r_e$  da molekulalararo o‘zaro ta’sir kuchi nolga teng, molekulalar o‘zaro ta’sir potensial energiyasi minimumga ega.

## **GAZ HOLATDAN SUYUQ HOLATGA O‘TISH**

Birinchi bo‘lib gazni (ammiakni) siqish yo‘li bilan suyuqlikka aylantirgan olim Van Marum (XVIII asr oxiri) edi. Van Marumdan so‘ng gazlarni siqish yo‘li bilan suyuq holatga o‘tkazish borasida ko‘p urinishlar bo‘ldi. Lekin uzoq vaqt nima uchun ba’zi gazlarni siqqanda suyulish yuz berishi, boshqalarini siqqanda suyulish yuz bermasligi noaniqligicha qolaverdi. Ingliz fizigi Tomas Endryusning 1861-1869 yillar davomida bajargan ishlari natijasida yuqoridagi savolga javob topiladi. Endryus karbonat angidridning izotermalarini turli haroratlarda siste-matik o‘rgandi va bu tadqiqotlar asosida kritik harorat tushunchasini kiritdi. U o‘zining tadqiqotlari asosida quyidagi xulosaga keldi: gazning harorati kritik haroratdan pastda bo‘lgan holdagina gazni siqish yo‘li bilan suyuqlikka aylantirish mumkin. Agar gaz harorati kritik haroratdan yuqori bo‘lsa, bosimni har qancha oshirganda ham gazni suyuqlikka aylantirib bo‘lmaydi.

## **EKSPERIMENTAL IZOTERMALAR**

Real gaz hajmining bosimiga bog‘lanishi haqidagi tajriba ma‘lumotlari bilan ideal gaz holat tenglamasi orasidagi farq gaz holatida yuz beradigan muhim sifatiy o‘zgarishlar bilan ham bog‘liq bo‘lib, bunday o‘zgarishlar yuqori bosimlar va tegishli haroratlarda kuzatiladi.

Gazlarning holatidagi bosim va haroratning ma‘lum qiymatlarida ro‘y beradigan sifat o‘zgarishlari bu ularning gazsimon holatdan farq qiluvchi suyuq holatga o‘tishidir. Bu hodisani ideal gazning holat tenglamasi bilan mutlaqo tushuntirib bo‘lmaydi.

Quyida bu jarayonni ko‘rib chiqaylik.

Tekshirilayotgan gaz suriluvchi porshen bilan berkitilgan idishga qamalgan va uning harorati o‘zgarmas, lekin har bir gaz uchun xos qiymatdan pastroq bo‘lsin. Porshen yordamida gazning hajmini kamaytir-ganimiz sari uning bosimi dastlab hajmga teskari proporsional ravishda ortadi (60-rasm), so‘ngra sekinroq ortadi (egri chiziqning 12 qismi).

Hajm  $V_b$  qiymatga yetguncha shunday davom etadi. Hajmning keyingi  $V_s$  gacha o‘zgarishida bosim o‘zgarmaydi. Bu vaqtida porshenning sirtida va idish devorlarida suyuqlik tomchilari paydo bo‘la boshlaydi.

Gazning suyuqlikka aylanishi (kondensasiya jarayoni)  $V_b$  hajmga mos keluvchi 2 nuqtada boshlanib, hajm  $V_s$  qiymatga erishganda gazning hammasi suyuq holatga o‘tadi.  $V_s$  hajmdan boshlab hajmning kichrayishi bosimning keskin ortishini talab qiladi. Chunki, suyuqliknini siqish gazni siqishga qaraganda ancha qiyin.

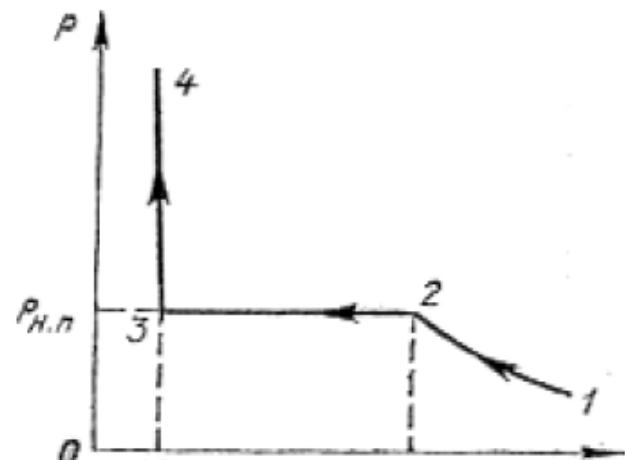
Izotermaning 23 qismiga mos keluvchi bosim va hajmlarda idish hajmining bir qismi suyuqlik bilan, boshqa qismi esa to‘yingan bug‘ deb ataluvchi gaz bilan band. To‘yingan bug‘ning bosimi esa berilgan haroratda gaz hajmiga bog‘liq emas.

Harorat ortishi bilan izotermaning gorizontal qismi qisqarib boradi va kritik harorat deb ataluvchi haroratda bitta nuqtaga aylanadi (62-rasmga qarang). Kritik tempetatura (kritik holat) haqida keyingi mavzularda yana to‘xtalib o‘tsakda, shu narsani qayd qilib o‘tish lozimki, kritik haroratdan yuqori haroratlarda gazni siqish yo‘li bilan suyuqlikka aylantirib bo‘lmaydi. Shu sababli **bug‘** deganda ko‘pincha siqlganda suyuqlikka aylanadigan gaz nazarda tutiladi.

Izotermadagi  $2 \rightarrow 3$  qismning mavjudligi ayni bir harorat va bosimda bir moddaning bir vaqtida ikki holatda bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Bu holatlar o‘zlarining fizik xossalari bilan bir-biridan farq qiladi.

Umuman olganda, agar tizim fizik jihatdan turli holatda bo‘lgan va bir-biridan ajralib turuvchi bir jinsli qismlardan iborat bo‘lsa, u holda bu qismlar uning **fazalari** deb ataladi.

Agar berilgan sharoitda moddaning ikki yoki undan ortiq fazalari bir-biriga tegib tursa va bunda biri ikkinchisining hisobiga o‘sma, moddaning bunday holati uning fazaviy muvozanati deb ataladi.



60-rasm

Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o‘tishi uning fazaviy o‘tishi yoki fazaviy aylanishi deb ataladi. Moddaning tarkibiga qarab muvozanatda bo‘ladigan fazalar soni turlicha bo‘lishi mumkin.

**Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Molekulyar kuchlar deganda nimani tushunasiz?
2. Eksperimental izotermalar haqida ma’lumot bering?
3. Zarralarninf o’zaro ta’sir energiyasi deganda nimani tushunasiz?
4. Molekulalarning ta’sir sfera radiusi deganda numani tushunasiz?
5. Muvozanat masofasi deganda nimani tushunasiz?
6. Molekulalararo o’zaro ta’sir kuchlari qanday turlarga bo’inadi?
7. Gazlarning suyulishi hodisasi deganda nimani tushunasiz?
8. Eksperimental izotermalar haqida ma’lumot bering?

## **22-mavzu: Real gaz holat tenglamasi. Van-der-Vaals izotermalari.**

### **Reja:**

1. Real gazlar haqida ma'lumot.
2. Real gaz holat tenglamasi.
3. Van-der-Vaals izotermalari
4. **Tayanch so'z va iboralar:** Real gaz, Real gaz holat tenglamasi, Van-der-Vaals izotermalari.

## **REAL GAZLAR**

Molekulalar orasidagi o'rtacha masofa molekula o'lchamidan ancha katta bo'lganda va gazlarning xossalari ularning o'zaro ta'sirlari bilan emas, balki molekulalarning konsentrasiyasi bilan aniqlanadigan holda siyraklashtirilganda real gazlarni ideal kabi qarash mumkin.

Gazlar zich, yani molekulalar orasidagi masofa ularning o'lchamlari bilan teng bo'lgan hollarda molekulalar orasidagi masofa hisobga olinadi. Real gazlarda molekulalar o'zaro ta'siri katta masofalarda tortishish va kichik masofalarda itarishish kuchlari bilan tavsiflanadi. Shuning uchun molekulalar o'lchamini uning hajmini aniqlovchi molekuladagi qandaydir sirtning mavjudligi bilan emas, itarishish kuchlarining yuzaga kelishi bilan bog'lash kerak. Molekulaning diametri, zarrachaning harakat energiyasi va itarishish kuchi kattaligiga bog'liq holda, ularning yaqinlashishi mumkin bo'lgan o'rtacha masofani aniqlaydi.

Real gazlar yetarlicha past haroratlarda va yuqori bosimlarda kondensasiyalanadi – suyuq holga o'tadi.

### **Real gazlarning holat tenglamasi.**

Klapeyron tenglamasi ham taqrifiy tenglamadir. Bu tenglama faqat etarlicha kichik bosimlardagina o`rinli bo`lib, bosim qancha kichik bo`lsa, shuncha aniq bajariladi. Bosim ortganida esa Boyl—Mariott qonuni va Gey-Lyussak qonuni singari qonunlardan, ya`ni Klapeyron holat tenglamasining bevosita natijalari bo`lgan qonunlardan chetga chiqishlar kuzatiladi.

4-jadvalda bir mol azot  $N_2$  ning  $0^\circ S$  temperatura va turli  $r$  bosimlarda egallagan hajmining tajribalarda olingan qiymatlari va  $pV$  ko`paytmaning qiymatlari keltirilgan. Bu jadvaldan 100 atm bosimdayoq  $V$  ning qiymati nazariy hisoblanganidan 7% ga farq qilishi ko`rinib turibdi. Bosim yanada ortganida gaz hajmining qiymati Klapeyron tenglamasiga muvofiq nazariy hisoblanganidan borgan sari kattaroq farq qilib boraveradi, bosim 1000 atm ga etganida gazning hajmi Klapeyron tenglamasi to`g`ri deb hisoblangan qiymatdan ikki marta katta bo`ladi. Bu narsa  $pV$  ko`paytmaga ham tegishlidir, holbuki, bu ko`paytma

Klapeyron tenglamasiga ko`ra barcha bosimlarda birday qolishi kerak edi. Aslida esa bu ko`paytma katta bosimlarda bosim ortishi bilan uzlusiz ortib boradi va tobora Klapeyron tenglamasiga ko`ra hisoblangan kiymatdan chetlasha boradi.

#### 4-jadval

#### **1 mol azotning turli bosimlarda egallagan hajmi**

R, atm	V · 10 <sup>4</sup> , m <sup>3</sup>	pV · 10 <sup>4</sup> atm · m <sup>3</sup>	r, atm	V · 10 <sup>4</sup> , m <sup>3</sup>	pV · 10 <sup>4</sup> atm · m <sup>3</sup>
1	224	224	700	0,532	372
100	2,4	240	900	0,483	437
300	0,85	255	1000	0,460	461
500	0,625	322			

Keltirilgan ma`lumotlar shuni ko`rsatadiki, etarlicha katta bosimlarda tashqi kuchlar real gazni ideal gaz holati tenglamasi asosida hisoblanganidan kamroq siqar ekan. Gazning siqiluvchanlik koeffitsienti bosim ortishi bilan ideal gazlar uchun bo`lgan bosimga teskari proportsionallikdan tezroq kamayar ekan, bu koeffitsientning ideal gazlar uchun

$$\chi = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T = -\frac{1}{p}$$

bog`lanishda ekanligini biz bilamiz.

Kichik bosimlarda o`zgarmas temperaturada gazning V hajmi bilan r bosimi orasidagi munosabat murakkabroqdir. Ma`lum bo`lishicha, nisbatan kichik bosimlarda pV ko`paytmaning berilgan temperaturada r bosimga bog`liqligini ifodalovchi egri chiziq (ya`ni izoterma chizig`i) minimumga ega, ya`ni kichik bosimlarda pV kattalik bosim ortishi bilan kamayadi. (siqiluvchanlik ideal gaznikidan kattaroq), biror bosimda minimumga erishadi va shundan so`ng qaytadan orta boshlaydi (siqiluvchanlik ideal gaznikidan kam bo`ladi). pV chizig`i minimumdan o`tadigan bosim temperaturaga bog`liq bo`ladi. Har bir gaz uchun pV ko`paytma biror bosimlar intervalida bosimga bog`liq bo`lmaydigan temperatura (Boyl temperaturasi) mavjuddir, ya`ni bu temperaturada gaz Boyl — Mariott qonuniga bo`ysunadi. SHunday qilib, tajriba real gazlarning ideal gazlardan o`z xossalari ko`ra birmuncha farq qilishini ko`rsatadi. Agar ideal gazlar holat tenglamasini chiqarishda qilgan farazlarimizni nazarga oladigan bo`lsak, bunga ajablanmasa ham bo`ladi. Haqiqatan ham, ideal gazni biz bir-birlari bilan o`zaro ta`sirlashmaydigan molekulalardan iborat gaz deb ta`riflagan, molekulalarning o`zini esa moddiy nuqtalar deb hisoblagan, ya`ni ularning o`lchamlari va hajmlarini nazarga olmagan edik.

## **Van-der-Vaals tenglamasi**

Holat tenglamasining molekulalarning chekli o`lchamlari ham, molekulalar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari ham nazarga olingen holda mukammallashtirilgan ko`rinishini birinchi marta 1873 yilda Van-der-Vaals tavsiya qilgan edi. SHuning uchun tenglama uning nomi bilan ataladi.

Birato`la shuni ham qayd qilish kerakki, biz o`rganishga kirishmoqchi bo`lgan real gazlar holati tenglamasi ham taxminiy tenglamadir, chunki molekulalar orasidagi ta`sir qiladigan kuchlarni aniq hisoblash usullari yo`q.

**Molekulalar orasidagi itarishish kuchlarini hisobga olish.** 1 mol uchun yozilgan ideal gaz holatining

$$pV = RT \quad (121)$$

tenglamasida  $V$  hajm gaz to`ldirilgan idishning hajmini bildiradi. Ayni vaqtida bu hajm ana shu hajmda harakatlanayotgan gaz molekulalarining har biri uchun mumkin bo`lgan hajm hamdir. Gap ideal gaz haqida borayotgan bo`lsa, «idishning hajmi» bilan «har bir molekulaning harakatlanishi mumkin bo`lgan hajm» orasida farq yo`q, chunki molekula-nuqtalar harakatlanishda bir-biriga halal bermaydi. Aslida esa gazda idishning butun hajmi molekulalar ixtiyorida emas, chunki har bir molekula idish hajmining biror qismini egallaydi va u egallagan hajm qolgan barcha molekulalarning harakatlanishi mumkin bo`lgan hajm bo`la olmaydi.

Bu holni hioobga olvsh uchun idish hajmidan uning molekulalar harakatlanishi mumkin bo`lmagan qismini ayirib tashlash kerak. Bu hajmning bu qismini  $b$  bilan belgilaylik, U holda (121) tenglama shunday ko`rinishga keladi:

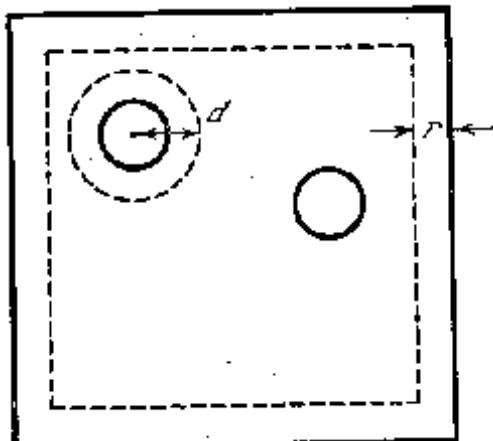
$$p(V - b) = RT. \quad (122)$$

SHunday qilib, kiritilgan  $b$  tuzatma gazni cheksiz katta bosim bilan siqilganda uning egallashi mumkin bo`lgan chegaraviy hajmni bildiradi. Haqiqatan ham, (122) ni quyidagi ko`rinishda yozib,

$$p = \frac{RT}{V - b}$$

$p = \infty$  bo`lganda  $V = b$  bo`lishini topamiz.

**$b$  o`zgarmasni hisoblash.** Holat tenglamasiga  $b$  o`zgarmasni kiritish bilan biz gaz molekulalarining hatto cheksiz katta bosimda ham bir-biri bilan nolga teng masofada yaqinlasha olmasligini hisobga oldik.



13-rasm.

quyidagiga teng:

Kub shaklidagi idishni ko`z oldimizga keltiraylik, uning hajmi berilgan bosim va temperaturada gazning bir moli egallaydigan  $V$  hajmga teng bo`lsin (13-rasm). Kubning tomonlari, ma`lumki,  $\sqrt[3]{V}$  ga teng. Molekulaning diametri  $d$  ga, radiusi esa  $r = \frac{d}{2}$  ga teng.

Bundan ko`rinadiki, bizning molekula tomonlari haqiqiy idish — kubning tomonlaridan  $d$  ga kichik bo`lgan kub ichida harakatlanishi mumkin degan xulosa chiqadi. Bu hajm

$$(\sqrt[3]{V} - d)^3.$$

Endi idishga ikkinchi molekulani kiritaylik (13-rasmida ana shu payt tasvirlangan). Bu hajm  $\frac{4}{3}\pi d^3$  ga teng. Binobarin, har ikki molekuladan ixtiyoriy bittasi uchun harakatlanishi mumkin bo`lgan hajm quyidagiga teng bo`lar ekan:

$$(\sqrt[3]{V} - d)^3 - \frac{4}{3}\pi d^3.$$

Agar idishga yana uchinchi molekulani ham kirtsak, u holda endi idishdagi uchta zarradan ixtiyoriy bittasi uchun bo`sh bo`lgan hajm

$$(\sqrt[3]{V} - d)^3 - 2 \cdot \frac{4}{3}\pi d^3$$

ga teng bo`ladi.

Nihoyat, idishda gazning bir molini tashkil qiluvchi barcha  $N_0$  ta ( $N_0$  — Avogadro soni) molekula bo`lganda, ulardan har birining harakatlanishi mumkin bo`lgan hajm quyidagiga teng bo`ladi:

$$(\sqrt[3]{V} - d)^3 - N_0 \cdot \frac{4}{3}\pi d^3. \quad (123)$$

Agar bu mulohazani barcha  $N_0$  ta molekulaning ixtiyoriy jufti uchun qo`llasak, u holda (123) ifodada  $N_0$  ning o`rniga  $\frac{N_0}{2}$  ni olish kerak. U holda har bir molekula uchun harakatlanish mumkin bo`lgan hajm quyidagiga teng bo`ladi:

$$V' = \left(\sqrt[3]{V} - d\right)^3 - \frac{N_0}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi d^3.$$

Agar hamma vaqt amalda bo`lganidek  $d = \sqrt[3]{V}$  bo`lsa (bu yerda  $\sqrt[3]{V}$  — idishning tomoni,  $d$  — molekulaning diametri), u holda  $\sqrt[3]{V}$  ga nisbatan  $d$  ni nazarga olmagan holda shunday yozish mumkin:

$$V' = V - N_0 \cdot \frac{2}{3} \pi d^3 = V - N_0 \cdot \frac{16}{3} \pi r^3.$$

Bu kattalik biz (122) holat tenglamasida  $V$  o`rniga yozilgan  $V-b$  kattalikdir. Binobarin,

$$b = \frac{16}{3} \pi r^3 N_0.$$

Demak, molekulalarning hajmlarini hisobga olgan holda kiritiladigan tuzatma molekulalarning o`zlarining hajmiga emas, bu hajmning to`rt baravariga teng.

**Molekulalar orasidagi tortishish kuchlarini hisobga olish.**  $b$  tuzatmani kiritish bilan nazarga olingen molekulalarning o`zaro itarishish kuchlaridan tashqary molekulalar orasida tortishish kuchlari ham mavjuddir. Bu kuchlarning mavjudligi shunga olib keladiki, gaz molekulalarining har qanday yuzga, masalan, idish devorlariga bosimi, boshqa barcha sharoitlar birday bo`lgapi holda, ideal gaz holidagidan kam bo`ladi. Haqiqatan ham, ndish devori yaqinida turgan ixtiyoriy molekuluning bir tomonidagi «qo`snilari» boshqasidan ko`p bo`lgani uchun unga gazning ichiga qarab yo`nalgan katta natijaviy kuch ta`sir qiladi. SHu tufayli idish devoriga ta`sir qiluvchi bosim biror  $\Delta p$  miqdor kam bo`ladi, ya`ni (123) ifoda o`rniga bosim uchun shunday formulani olamiz:

$$p = \frac{RT}{V-b} - \Delta p \quad \text{yoki} \quad p + \Delta p = \frac{RT}{V-b}.$$

Molekulalar oralaridagi tortishish kuchlari molekulalarni o`zaro yaqinlashtirishga intiladi. Biroq tashqi bosim  $p$  ham xuddi shunday ta`sir ko`rsatadi.

Binobarin,  $\Delta p \approx n^2 \cdot p$  gazning moli egallangan hajmga teskari proportsional bo`lgani uchun  $\Delta p = \frac{a}{V^2}$  bo`ladi, bu yerda  $V$  — gazning molyar hajmi va  $a$  — proportsionallik koeffitsienti, uning son qiymati molekulalar orasidagi tortishish kuchining xarakteriga bog`liq bo`ladi. Hozirgi vaqtida bu koeffitsientni hisoblash usuli yo`q. SHunday qilib, gaz bosimining ifodasini molekulalararo tortishish kuchlarini nazarda tutib quyidagicha yozish mumkin:

$$p + \frac{a}{V^2} = \frac{RT}{V - b}, \quad \text{bundan} \quad \left( p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT. \quad (124)$$

Gazning bosimi, hajmi va temperaturasini bog`lovchi bu tenglama real gazning holat tenglamasi deyiladi. Bu tenglamada molekulalaro tortishish kuchlari ham ( $a/V^2$  — tuzatma hadi), itarishish kuchlari ham ( $b$  tuzatma) nazarga olingan. Bu tenglama *Van-der-Vaals tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglama real gazlarga tegishli avvalgi parafgraflarda bayon qilingan asosiy tajriba dalillarini tasdiqlaydi. (124) tenglama bir mol gazga tegishlidir. Gazning ixtiyoriy miqdori uchun u quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$\left( p + \frac{M^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right) = \frac{M}{\mu} RT. \quad (65.6)$$

Bu yerda  $M$  — gazning massasi,  $\mu$  — uning molekulyar og`irligi,  $V$  — gazning egallagan hajmi.

Bosimga tegishli tuzatma ifodasidagi  $a$  koeffitsient va  $b$  tuzatma o`zgarmas kattaliklar bo`lib, ularning son qiymatlari turli gazlar uchun turlicha, demak, (124) tenglama Klapeyron tenglamasi kabi universal emas.  $b$  o`zgarmas hajm birliklarida o`lchanishi ravshan.  $a$  konstantaning o`lchamligi esa  $a/V^2$  kattalikning bosim o`lchamligiga ega ekanligidan aniqlanadi. SHuning uchun  $a$  SI sistemasida  $N \cdot m^{-2} \cdot m^6$  larda, ya`ni  $N \cdot m^4$  larda o`lchanishi, SGS sistemasida esa  $dina \cdot sm^4$  larda o`lchanishi kelib chiqadi. Ba`zan  $a$  ni  $atm \cdot sm^6$  larda ham o`lchanadi.

### **Van-der-Vaals izotermalari**

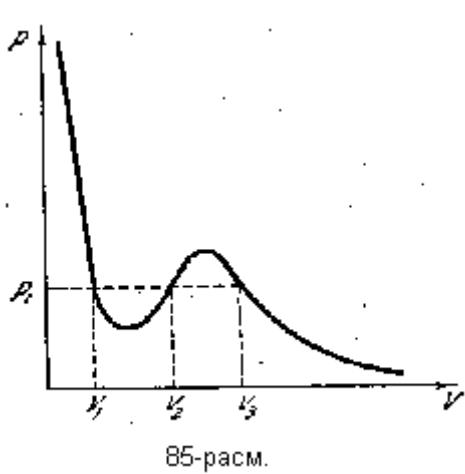
Van-der-Vaals tenglamasini uncha murakkab bo`lмаган о`зgartirishlardan keyin quyidagi ko`rinishga keltirish mumkin:

$$pV^3 - (bp + RT)V^2 + aV - ab = 0.$$

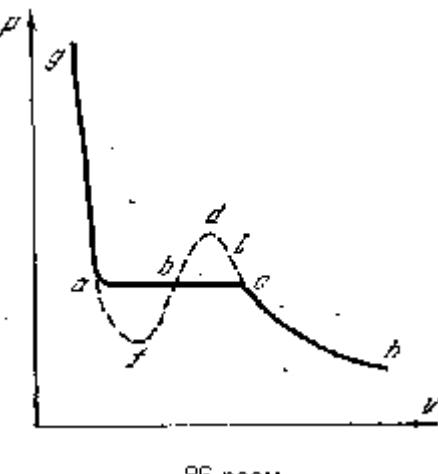
Buning har ikkala qismini  $r$  ga bo`lib, quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$V^3 - \left( b + \frac{RT}{p} \right) V^2 + \frac{a}{p} V - \frac{ab}{p} = 0. \quad (125)$$

Bu  $V$  hajmga nisbatan uchinchi darajali tenglama bo`lib, uning uchta ildizi bor. Demak, bosim va temperaturaning berilgan shu, qiymatlarida molyar hajmning uch qiymati yoki boshqacha aytganda, gaz zichligining uch qiymati bo`lishi mumkin. Uchinchi darajali tenglamaning uchala ildizidan yoki hammasi haqiqiy yoki ulardan ikkitasi mavhum va bittasi haqiqiy bo`lishi mumkin. Xususan, tenglama koeffitsientlarining tegishli qiymatlarida uchala



14-rasm.



15-rasm.

haqiqiy ildiz bir-biriga teng (karrali ildizlar) bo`lishi mumkin; u holda tenglamaning chap qismi aniq kub bo`ladi. Van-der-Vaals tenglamasining mavhum ildizlari fizikaviy ma`noga ega emas, shuning uchun biz ular bilan qiziqmaymiz. Van-der-Vaals tenglamasi ildizlarining fizikaviy ma`nosini aniqlash uchun (124) tenglamaga tegishli izotermalarni, ya`ni o`zgarmas temperaturada  $r$  bosimning  $V$  molyar (yoki solishtirma) hajmga bog`lanishini qarash va ularni tajriba ma`lumotlarida olingan izotermalar bilan solishtirish kerak. Ideal gazning izoterma giperbola edi, undan farqli ravishda (124) tenglamaga tegishli bo`lgan izoterma 14-rasmda ko`rsatilgan ko`rinishda bo`ladi, biz uni *Van-der-Vaals izotermasi* deb ataymiz. Uchinchi darajali tenglamaning grafik tasviri bo`lgan bu egri chiziqning maksimum va minimumi bo`ladi, bunda bosimning berilgan, masalan,  $p_1$  qiymatiga molyar hajmnинг  $V_1$ ,  $V_2$  va  $V_3$  qiymatlari mos keladi. Albatta, hajmnинг bu uch qiymatidan eng minimal qiymatiga (maksimal zichligiga) suyuq holat, maksimal qiymatiga esa *gazsimon* holat mos keladi. endi hajmi  $V_2$  bo`lgan uchinchi holatning ma`nosini aniqlashgina qoladi. SHu narsani oson ko`rish mumkinki, egri chiziqning  $fbd$  qismidagi nuqtalarga mos keluvchi holatning bo`lishi mumkin emas, chunki bu qismga bosimning hajmga odatdan tashqari bog`lanishi mos keladi: bosim ortishi bilan hajm kamaymaydi, balki ortadi. SHunday qilib, Van-der-Vaals tenglamasiga ko`ra moddaning egri chiziqning  $fbd$  qismiga mos keluvchi holatining haqiqatda kuzatilmasligiga ajablanmasa ham bo`ladi. Izotermaning  $cd$  va  $af$  qismlariga mos keluvchi holatlar garchi haddan tashqari beqaror bo`lmasa-da, har holda ularning barqarorligi  $abc$  qismga mos keladigan holatga qaraganda kamroqdir. Bu holatlar hatto amalga oshirilishi ham mumkin, biroq buning uchun maxsus sharoitlar bo`lishi kerak. Holati egri chiziqning  $cd$  qismi nuqtalariga mos keluvchi (15-rasmga q.) modda gazsimon holatda bo`ladi, chunki  $cd$  qism izoterma  $hc$  tarmog`ining davomi bo`ladi. Biroq bu holatlarning istalganida gazning (bug`ning) bosimi o`sha temperaturadagi to`yingan bug` elastikligidan yuqori bo`ladi, bu narsa g`ayri tabiiydir.

Moddaning bu o`ziga xos holati, masalan, ichida suv bug`lari bo`lgan havosi bor berk idishni tez sovitishda kuzatiladi. Faqat bunda: havoni chang zarralaridan yaxshilab tozalash va unda elektr zaryadlar bo`lmasligiga erishish kerak. Bunday sharoitlarda to`yingan bug`ning sovitilishi va uning elastikligining kamayishiga qaramay, bu bug`lar anchagina uzoq muddat davomida kondensatsiyalanmay, gazsimon holatda qoladi. Bu holat *cd* qismdagi nuqtalarga mos keladi, bu holatda bug` o`ta to`yingan bo`ladi, ya`ni bug` miqdori uning to`yinshi miqdoridan ko`p bo`ladi. Bunday bug` *o`ta to`yingan* yoki *o`ta sovigan* bug` deb ataladi. Van-der-Vaals izotermasining *af* qismidagi nuqtalar bilan xarakterlanadigan modda holatiga kelganda shuni aytish kerakki, ularning yanada beqaror bo`lgani tufayli amalda namoyon qilish yana ham qiyinroqdir. *cd* va *af* qismlarga mos keluvchi holatlar *fb* *d* qismdagi nostabil holatlardan farqli o`laroq *metastabil holatlar* deb ataladi. Van-der-Vaals tenglamasining ahamiyati faqatgina moddaning bo`lishi mumkin bo`lgan ikki fazasi — suyuq va gazsimon fazasi mavjudligini tavsiflash bilan cheklanmaydi. Van-der-Vaals tenglamasidan kritik temperatura va kritik holatning mavjudligi haqidagi muhim faktlar bevosita kelib chiqishini biz quyida ko`ramiz.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Real gaz deganda nimani tushunasiz?
2. Van-der-Vaals izotermalarini izohlang?
3. Real gaz holat tenglamasi qanday?
4. Kritik temperatura va kritik hajm deganda nimani tushunasiz?
5.  $V^3 - \left( b + \frac{RT}{p} \right) V^2 + \frac{a}{p} V - \frac{ab}{p} = 0$ . formuladagi a va b koeffitsientlarni izohlang?

## 23-Mavzu. Fazaviy o'tish. Fazaviy diagrammalar.

Reja:

1. Fazaviy o'tish.
2. Fazaviy diagrammalar.

Tayanch so'z va iboralar: Fazaviy o'tish. Fazaviy diagrammalar.

Системанинг бир жинсли ва хоссалари бир ҳил бўлган қисмлари термодинамикада фаза деб аталади. Фаза тушунчасини қўйнадаги мисолларда тушунтириб ўтамиз. Елиқ идишда сув ва унинг устида ҳаво билан сув буғи аралашмаси бор. Бу ҳолда биз иккита фазадан иборат бўлган система билан иш кўрамиз: бир фаза сув бўлиб, иккинчи фаза эса ҳаво билан сув буғи аралашмасидир. Агар сувга бир исча бўлак муз ташланса, бу бўлакларнинг ҳаммаси учинчи фаза ташкил этади. Бирор модданинг турли кристалл модификациялари ҳам турли ҳил фазалар бўлади. Масалан, олмос ва графит углероднинг турли ҳил қаттиқ фазаларидир.

Маълум бир шаронитларда айни бир модданинг турли ҳил фазалари бир-бирига тегиб мувозанатда бўла олади. Икки фаза температураларнинг маълум бир интервалидагина мувозанатда бўлади, шу билан бирга температуранинг ҳар бир  $T$  қийматига мутлақо аниқ  $\rho$  босим тўғри келади. босимнинг бу қийматида мувозанат бўлиши мумкин. Шундай қилиб, икки фазанинг мувозаниат ҳолатлари ( $\rho, T$ ) диаграммасида

$$\rho = f(T) \quad (147.1)$$

чизиқ билан тасвирланади.

Масалан, суюқлик билан унинг тўйинган буғи мувозанатда бўладиган температуралар интервали, 119- § да кўрганимиздек, учланган нуқта билан критик температура орасида ётади. Бу ҳолда (147.1). функциянинг графиги тўйинган буғ эластиклигининг эгри чизиғидан иборат бўлади.

Айни бир модданинг уч фазаси (қаттиқ, суюқ ва газсизмон ёки суюқ ва иккита қаттиқ фазаси) температура ва босимнинг ягона қийматларидагина мувозанатда бўла олади. ( $\rho, T$ ) диаграммада температура ва босимнинг бу қийматларига учланган нуқта деб атадиган нуқта тўғри келади. Бу нуқта иккитараб олинган фазалар мувозанатининг эгри чизиқлари кесишган нуқтада ётади.

Айин бир модданинг учтадан ортиқ фазасининг мувозанатда бўлолмаслиғи термодинамикада тажрибага мувофиқ равишда исбот қилияди.

Модда бир фазадан бошқа фазага ўтганда бирор миқдор иссиқлик ютилали ёки ажралиж чиқади, бу иссиқлик миқдори ўтишнинг

яширин иссиқлиги ёки, соддароқ қилиб, ўтиш иссиқлиги деб атала迪. Бир кристалл модификациядан бошқасында ўтиш ҳоллари борки, буларда иссиқлик ютилмайды ҳам, чиқарилмайды ҳам. Бундай ўтишлар баринчи тур фазавий ўтишлар деб аталадиган одатдаги ўтишлардан фарқли ўлароқ, иккинчи тур фазавий ўтишлар деб аталади. Биз биринчи тур фазавий ўтишларни күриб чиқиш билан чегараланамиз.

#### 148- §. Буғланиш ва конденсация

Ҳар қандай темперитурада суюқ ва қаттиқ жисмларда бирор миқдор молекула бўладики, уларнинг энергияси бошқа молекулаларнинг тортиш кучини енгишга, суюқ ёки қаттиқ жисм сиртидан чиқиб кетишга ва газ фазасига ўтишга етади. Суюқликнинг газ ҳолатига ўтиши буғланиш деб, қаттиқ жисмнинг газ ҳолатига ўтиши сублимация деб аталади.

Қаттиқ жисмларнинг ҳаммаси мустаносиз озми-кўпми сублимацияланади. Бильзи моддаларда, масалан, қаттиқ карбонат ангидридда (сунъий муз) сублимация процесси билинарли тезлик билан юз беради; бошқа моддаларда бу процесс одатдаги температураларда шунчалик секин юз берадики, уни амалда сезиб бўлмайди.

Буғланиш ва сублимацияда жисмдан анча тез ҳаракатланувчи молекулалар чиқиб кетади, натижада қолган молекулаларнинг ўртача энергияси камаяди ва жисм совийди. Буғланаётган (ёки сублимацияланадиган) жисмнинг температурисини ўзгартирмай туриш учун унга муттасил равишда иссиқлик бериб туриш керак. Модданинг бирлик массасини температураси модданинг буғланишдан олдинги температурасидек бўлган буғга айлантириб юбориш учун унга берилиши лозим бўлган  $q$  иссиқлик солиштирма буғланиш (ёки сублимация) иссиқлиги деб аталади.

Буғланишда сарф бўлган иссиқлик конденсацияланишда қайтариб берилади: конденсацияланишда ҳосил бўладиган суюқлик (ёки қаттиқ жисм) исийди.

Суюқликнинг буғланиш иссиқлигини чамалаб кўрамиз. Бирор миқдор суюқлик буғланаётганда газсимон фазага ўтаётган молекулалар сирт қатламида таъсар этувчи кучларга қарши иш бажариши керак (143- § га қ.). Бу кучлар қатламнинг  $r$  қалинлигига тенг йўлда таъсир қиласи. Кучнинг мана шу йўлдаги ўртача қийматини  $\bar{f}$  билан, масса бирлигидаги молекулалар сонини  $n'$  билан белгилаб, сирт қатламида таъсар этувчи кучларга қарши бажарилган ишни  $n'\bar{f}r$  кўринишда ифодалаш мумкин. Буғланиш процессида модданинг ҳажми ортади, шунинг учун бунда ташқи кучларга қарши иш бажариш варурати ҳам туғилади. Агар модда буғланаётганда ташқи  $r$  босим ўзгармай турса, у ҳолда ташқи кучларга қарши бажарилган иш  $r(V'_b - V'_c)$  га тенг бўлади, бу ерда  $V'_b$  ва  $V'_c$  — буғ ва суюқликнинг солиштирма ҳажмлари. Юқорида айтиб ўтилган иккала иш буғланиш иссиқлиги  $q$  ҳисобига бажарилади. Шундай қилиб,

$$q = n'\bar{f}r + p(V'_b - V'_c). \quad (148.1)$$

Температура күтарилиган сары буғланиш иссиқлиги камайши (148.1) ифодадан кўринади. Дарҳақиқат, температура күтарилиши билан тўйинган буғнинг зичларлиги ортади, бу эса молекулага сирт ѫатламида таъсир этувчи кучларни камайтиради. Тўйинган буғ ва суюқликнинг солиштирма ҳажмларида фарқ ҳам камаяди. Бинобарин, температура күтарилиганда (148.1) даги иккала қўшилувчи ҳам камаяди. Критик температурада буғланиш иссиқлиги нолга айланади.

Суюқлик билан унинг буғи ўртасида мувозанат қарор топишини кўриб чиқамиз. Ичига тўлдирмасдан суюқлик қўйилган герметик идиш оламиз (327- расм). Дастреб суюқлик устидаги фазодан модда бутунлай чиқариб ташланган бўлсин, деб фараз қиласиз. Буғланиш процесси натижасида суюқлик устидаги фазо молекулалар билан банд бўла бошлайди. Газсимон фазага ўтган молекулалар бетартаб ҳарикат қилиб, суюқлик сиртига келиб урилади, бундай тўқнашишларнинг баъзиларида молекула суюқ фазага ўтади. Вакт бирлиги ичиде суюқ фазага ўтувчи молекулалар сони равшанки, суюқлик сиртига келиб урилувчи молекулалар сонига пропорционал бўлади. Бизга маълум бўлганидек [(99.9) га қ.], сиртга (суюқлик сиртига) келиб урилувчи молекулалар сони эса, ўз навбатида  $n$  га пропорционалdir, яъни  $\rho$  босим ощуви билан кўпаяди. Бинобарин, буғланиш билан бирга молекулаларнинг газсимон фазадан суюқ фазага ўтишидек тескари процесс юз беради, бу процесснинг интенсивлиги суюқлик устидаги фазода молекулалар зичлиги ортиши билан ошади. Мазкур температура учун тайинли бир босимга эришилгач, суюқликдан чиқиб кетаётган ва унга қайтиб тупаётган молекулалар сони тенглашади. Шу пайтдан бошлаб буғнинг зичлиги ўзгармай қўяди. Суюқлик билан буғ ўртасида динамик мувозанат юз беради (327-расм), системанинг ҳажми ёки температураси ўзгармас ўкан, бу мувозапат бузилмай туради.

Динамик мувозанат ҳолатга тўғри келган босим тўйинган буғнинг  $p_{t,b}$  босими мидир. Агар идишнинг ҳажми оширилса, буғ босими пасаяди ва мувозанат бузилади. Натижада барор миқдор суюқлик буғга айланиб, босим яна  $p_{t,b}$  га тенг бўлиб қолади. Шунга ўхшаш, идишнинг ҳажми камайтирилса, бирор миқдор буғ суюқликка айланади.

Вакт бирлиги ичиде суюқликдан чиқиб кетадиган молекулалар сони температуранинг кичикроқ даражасига ( $\sigma$  орқали )  $T$  каби) боғлиқ. Шунинг учун температура күтарилиганда фазалар ўртасидаги мувозанат бузилади ва бирор вакт давомида молекулаларнинг суюқлик  $\rightarrow$  буғ йўналишдаги оқими буғ  $\rightarrow$  суюқлик йўналишдаги оқимидан ортиқ бўлиб туради. Босим ошиб ния динамик мувозанат юз бермагунча бу ҳол давом этаверади. Шундай қилиб, суюқлик билан буғ ўртасида ҳаракатчан (динамик) мувозанат юз берадигандаги босим, яъни тўйинган буғ босими температурага боғлиқ бўлар экан. Бу боғланишнинг кўриниши 274- рисмда тасвирланган.



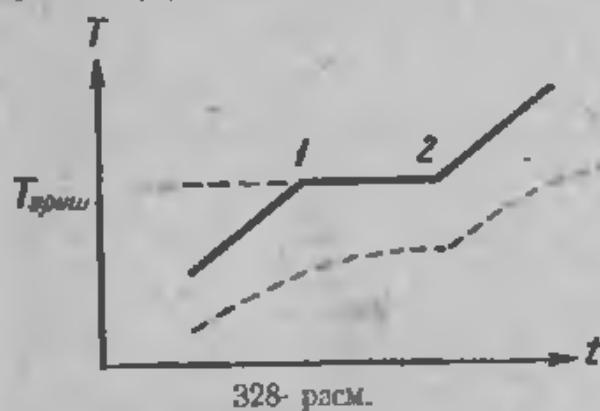
327- расм

Суюқлик билан газ ўртасидаги мувозанат тұғрыснда айтилған Галларнинг ҳаммасы қаттық жисм—газ системасы учун ҳам тұғри. Ҳар бир температурага босимнинг қаттық жисм билан газ ўртасыда қарқатчан мувозанат қарор толадиган тайинли бир қийматы мөс келади. Одатдаги температураларда күпчилик жисмлар учун, масалан, қаттық металлар учун бу босим шу қадар кичік бұлады, уни әнг сеэгир асбоблар билан ҳам пайқаб бўлмайди.

#### 149- §. Эриш ва кристалланиш

Кристалл жисмнинг суюқ ҳолатга ўтиш процесси ҳар бир модда учун тайинли бўлган маълум бир температурада юз беради ва бирор миқдор иссиқлик сарфлашни талаб қиласди. Бу иссиқлик миқдори эриш иссиқлиги деб аталади.

Дастлаб кристалл ҳолатда бўлган моддага ҳар секундда айни бир миқдорда иссиқлик бераб турилса, унда жисм температураси ўзгаришининг вақтга боғланиш эгри чизиги 328-расмда кўрсатилган шаклда бўлади. Дастлаб жисмнинг температураси ҳамиша ошиб боради.  $T_{\text{ер}}$



эриш температурасига етгач (328-расмдаги 1 нұқта), жисмга аввалгыча иссиқлик береб турилишига қаримасдан, уннинг температураси ўзгармай қўяди. Шу билан бир вақтда қаттық жисмнинг эриш процесси бошланади, бу процесс давомида модданинг янги-янги улушлари суюқликка айланиб боради. Эриш процесси тамом бўлаб,

бутиң модда батамом суюқ ҳолатга ўтиб бўлгандан кейин (328-расмдаги 2 нұқта) темперитура яна кўтарила бошлайди.

Аморф жисмнинг исиши эгри чизиги бошқача бўлади (328-расмдаги пункттир эгри чизик). Иссиқлик муттасил береб турилганды аморф жисмнинг температураси узлуксиз кўтарилиб боради. Аморф жисмлар учун суюқ ҳолатта ўтишнинг тайинли бир температураси бўлмайди. Бу ўтиш процесси сакраб әмас, балки узлуксиз юз беради. Жисем юмшайдиган температуралар соҳасинингика кўрсатиш мумкин. Бундай бўлишнининг сабаби шундаки, суюқликлар билан аморф жисмлар бир-бирндан молекулаларининг қарқатчанлик даражаси билангила фарқ қиласди, аморф жисмлар, юқорида айтиб ўтганимиздек, қаттық совитилган суюқликлардир.

Эриш температураси босимга боғлиқ. Шундай қилиб, модданинг кристалл ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтиш процесси босим ва температурининг қийматлари билан характерланадиган мутлақо тайинли бир шароитларда юз беради. Бу қийматлар түпламига ( $p, T$ ) диаграммада эгри чизик түғри келади, бу эгри чизик эриш эгри чизиги деб атапади. Эриш эгри чизиги жуда тикроқ кетади. Музник әриш темпе-

ратурасини, масалан,  $1^{\circ}$  ўзгартериш учун босимни 132 ат миқдори-  
га ўзгартериш керак.

Эриш эгри чизигининг нүқталари кристалл ва суюқ фазалар  
бир-бiri билан мувозанатда бўладиган шароитларни белгилайди.  
Суюқлик ва кристалл массалари ўртасидаги муносабат қар қандай  
бўлган ҳолда, яъни системанинг ҳажми  $m V'_k$ дан  $m V'_c$  гача бўлган  
цийматлар қабул қилиналиган ҳолда бундай мувозанат юз берини  
мумкин, бу ердаги  $m$ —система массаси,  $V'_k$  ва  $V'_c$  — қаттиқ ва суюқ  
фазаларнинг солиштирма ҳажмлари. Шунинг учун эриш эгри чизи-  
гининг ҳар бир нүқтасига ( $p, V$ ) диаграммада  
горизонтал тўғри чизик кесмаси мос келади  
(329- расм). Бу кесманинг муқталари билан  
ифодаланадиган ҳолатларда модданинг темпе-  
ратураси бир хил бўлгани учун, 329- расмда-  
ги 1 — 2 тўғри чизик кесмаси изотерманинг  
модданинг икки фазали ҳолатига мос қисмидан  
иборат (272- расмдаги изотермаларнинг гори-  
вонтал қисмларига таққосланг).

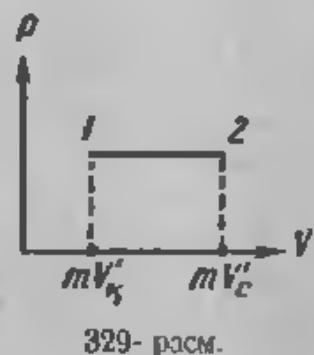
Эришга тескари бўлган кристалланиш про-  
цесси қўйнадигича юз беради. Суюқликни  
унинг қаттиқ ва суюқ фазалари маълум бир бо-  
сик шаронтида мувозанатда бўладиган температурага қадар (яъни  
ариш бошланадиган температурага қадар) совитгаида айни вақтда  
кристаллар ўса бошлайди. Бу кристаллар кристалланиш куртаклари  
ёки мариазлари деб аталадиган марказлар атрофида ҳосил бўлади.  
Айрим кристаллчалар борган сари ўса бориб, оқибатда бир-бiriغا  
бирикиб поликристалик қаттиқ жисм ҳосил қиласди.

Суюқликда муаллақ ҳолда юргэн қаттиқ зарралар кристалланиш  
марказлари бўлади. Бундай зарралардан яхшилаб тозаланган суюқ-  
ликни кристалланиш температурасидан пастроқ температурага қадар  
совитиш мумкинки, бунда кристалланиш ҳали бошланмаган бўлади.  
Суюқликнинг ўта совитилган бундай ҳолати метастабил бўлади.  
Бундай суюқликнинг мувозанат температурасида турган суюқлик ва  
кристалларга ажралиб кетиши учун унга бирор чаңг заррасининг  
тушиши кифоя. Лекин байзи ҳолларда ўта совитилган суюқлик молекулаларикинг ҳаракатчанлиги арзимаган даражада бўлиб, метаста-  
бил ҳолат анча узоқ вақт давомида сақланиб қолади. Бундай ҳол-  
ларда суюқликнинг оқувчанлиги жуда кам бўлиб, у аморф қаттиқ  
жисмдан иборат бўлади.

Модда эриш вақтида қанча иссиқлик ютган бўлса, кристалланиш  
процесси а худди ўшаича миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади.

### ✓ 150-§. Кларапейрон — Клаузиус тенгламаси

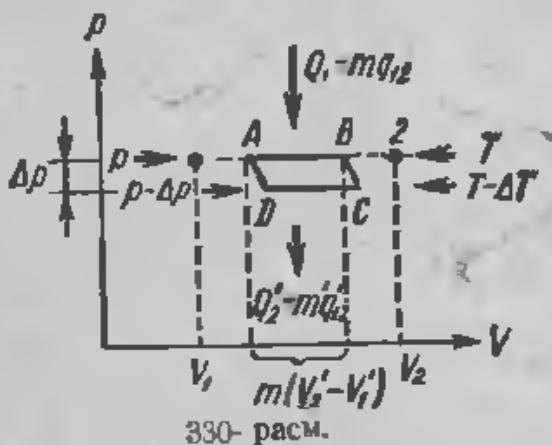
Бундап олдинги параграфларда кўриб ўтдикки, модданинг ҳар  
қандай икки фазаси маълум бир босим шаронтидагина мувозанатда  
бўлади. Бу босимнинг катталиги температурага боғлиқ бўлади. Бу  
боғлашишнинг умумий кўринишини термодинамиканинг иккинчи асо-



329- расм.

сідан фойдаланыб топиш мүмкін. Бунинг учун бир модданиң мұвозаатда турған иккита фазасыдан иборат бұлған системага оид Карно циклини күриш чиқамиз.

Иккі фазали системага оид Карно цикли ( $p, V$ ) диаграммада 330-расмда күрсатылған шактада бұлады (иситкіч болан совиткіч-нинг температуралари бир-биридан жуда кішік  $\Delta T$  міндерге фарқ қиласы, деб фарз қилинади). Температурасы  $T$  бұлған изотерманың горизонтал қисмінінг четырі нүктесінде 1 және 2 рақамлары болан белгиланған. 1 және 2 ҳолаттар бир фазали ҳолатлардир. 1 → 2 қесманның оралиқдаги барча нүктесінде иккі фазали ҳолаттарни тасвирлауди, бу ҳолаттар бир-биридан модда мөсасаның биринчи және иккінчи фаза ўртасыда қайта тақсимланыши болан фарқ қиласы.



$A \rightarrow B$  изотермик процессда модданиң бирор  $m$  массасы бир фазадан бошқа фазага айланади. Бунда модданиң ұжымы  $m(V'_2 - V'_1)$  га тең бұлған орттирма олади, бу ерда  $V'_1$  және  $V'_2$  — биринчи және иккінчи фазаның солищтирма ұжымлары. Модданиң бир фазадан бошқа фазага бундай айланыш үчүн моддага  $Q_1 = mq_{12}$  иссиқтік міндері беріш керак, бу ерда  $q_{12}$  — модданиң  $T$  температура шаронында 1 ҳолатдан 2 ҳолатга ўтишинда қотадын солищтирма иссиқлигі.  $Q_1$  иссиқтік системаның цикл давомида иситкічдап олады. Иссиқтік совиткічка  $C \rightarrow D$  изотермик процесс давомида берилади. Берилған иссиқтік міндері  $Q'_2 = m'q'_{12}$ , бу ерда  $q'_{12}$  — температура  $T - \Delta T$  бұлған шаронында 1 — 2 ўтиш процессиңдегі иссиқтік,  $m'$  әсі  $C \rightarrow D$  процесс давомида бир фазадан бошқа фазага айланған модда міндері. Модданиң бу міндері  $m$  дан бир оз фарқ қиласы, чунки модданиң бирор массасы бир фазадан бошқа фазага адабаттік процесслар давомида айланади.

Цикл давомида бажарылады  $A$  иш сон жиһатдан циклниң юзига тең. Шунинг учун ишни қуйидагыда ёзиш мүмкін:

$$A \approx m(V'_2 - V'_1) \Delta p. \quad (150.1)$$

(150.1) теңгілік тақрабий теңгілікдір.  $\Delta p$  нолға интиладын (бунинг учун  $\Delta T$  нолға интиладын бўлиши лозим) лимитда (150.1) ифода түғри теңгілікка айланади.

Таърифга биноан, циклнинг ф.и.к. қуйидагига тең:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \approx \frac{m(V'_2 - V'_1) \Delta p}{mq_{12}} = \frac{V'_2 - V'_1}{q_{12}} \Delta p. \quad (150.2)$$

Шу билан бирга, (129.7) га асосан:

$$\eta = \frac{\Delta T}{T}. \quad (150.3)$$

$\eta$  нинг (150.2) ва (150.3) ифодаларини бир-бiriغا тенглаштирамиз:

$$\frac{V_2 - V_1'}{q_{12}} \Delta p \approx \frac{\Delta T}{T}.$$

Бундан

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} \approx \frac{q_{12}}{T(V_2' - V_1')}. \quad (150.4)$$

(150.4) тақрибий тенглик  $\Delta T$  нолга интилган лимитда түғри тенгликка айланади:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(V_2' - V_1')}. \quad (150.5)$$

(150.5) муносабат Клапейрон—Клаузнус формуласи (ёки тенгламаси) деб аталади. Клапейрон—Клаузнус тенгламаси мувозанат ҳолатдаги босимдан температура бўйича олинган ҳосила билан ўтиш процессининг иссиқлиги, температура ва мувозанатда турган фазалар солиштирма ҳажмларининг айрмаси орасидаги боғланишини аниқлайди.

(150.5) тенгламага асосан,  $\frac{dp}{dT}$  ҳосиланинг ишораси иссиқлик ютилганда юз берадиган фазавий ўтиш процессида ҳажмнинг қандай ўзгаришига (ортишига ёки камайишига) боғлиқ. Суюқлик ёки қаттиқ жисм буғланганда ҳамиша ҳажм ортади, шу сабабдан буғланиш эгри чизиги учун, шунингдек, сублимация эгри чизиги ёчун  $\frac{dp}{dT}$  ҳосила фақат мусбат бўлади: температура кўтарилганда мувозанат ҳолатдаги босим ортади.

Одатда аришда ҳажм ортади, шунинг учун  $\frac{dp}{dT} > 0$ : босим ортганда эриш температураси кўтарилади. Лекин баъзи моддаларда (булар жумласига сун ҳам киради) суюқ фазанинг ҳажми қаттиқ фазанинг ҳажмидан кичик ( $V_2 < V_1'$ ) бўлади<sup>1</sup>. Бу ҳолда  $\frac{dp}{dT} < 0$ , яъни босим ортганда ариш температураси пасаяди. Муэни қаттиқ сиқиб, унинг температурасини  $0^{\circ}\text{C}$  дан оширмасдан ҳам аритиб юбориш мумкин.

Бир кристалл ҳолатдан бошқасига ўтиш процессининг температураси босим ортганда кўтариладиган ёки пасаядиган бўлишин қаттиқ фазалардан қайси бирининг солиштирма ҳажми ортиқ бўлишига боғлиқ.

### 151-§. Учланган нүқта. Ҳолат диаграммаси

Суюқлик ва у билан мувозанат ҳолатида бўлган бур тарзидаги моддани олиб, унинг ҳажмийн ўзгартирмай туриб ундан иссиқлик ола бошлаймиз. Бу процесс давомида модданинг температураси пасайдя ва шунга яраша босим ҳам камаяди. Шунинг учун модданинг ҳолатини ( $p, T$ ) диаграммада тасвирловчи нүқта буғланиш эрги чизиги бўйлаб (331-расм) пастга кўчади. Бу нүқта модданинг

кристалланиш температурасига (бу температура мувозанат ҳолатидаги босимга туғри келади) эришилгунча пастга кўчаверади. Бу температурини  $T_{y_1}$  билан белтилаймиз. Кристалланиш процесси давом этиб турган бутун вақт ичидаги температура ва босим ўзгармай туради. Бунда чиқадиган иссиқлик кристалланишда чиқадиган иссиқликдир.

$T_{y_1}$  температура билан унга мос мувозанат ҳолатидаги  $p_{y_1}$  босим температура ва босимнинг модданинг учта фазаси: қаттиқ, суюқ ва газ

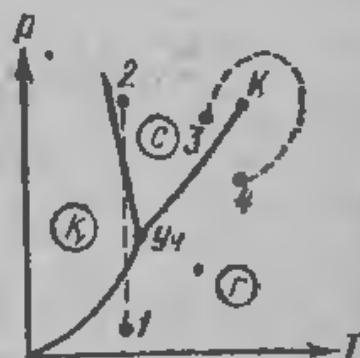
фазаси мувозанатда бўладиган ягона қийматларида. Бунга ( $p, T$ ) диаграммада мос келувчи нүқта учланган нүқта деб аталади. Шундай қилиб, учланган нүқта модданинг учала фазаси бар вақтда мувозанатда бўладиган шароитларни аниқлайди.

Кристалланиш процесси тамом бўлгач, қаттиқ ва газ фазалар мувозанатда бўлади. Агар моддадан иссиқлик олиш давом этаверса, у ҳолда температура яна пасая бошлайди. Кристалл фаза билан мувозанатда бўлган буғнинг босими шунга яраша камаяди. Модданинг ҳолатини тасвирловчи нүқта сублимация эрги чизиги бўйлаб пастга кўчади.

Учланган нүқтага онд температурада модда  $p_{y_1}$  га тенг босим шароитида эрийди. Босим бошқача бўлганда эриш температураси бошқа бўлади. Босим билан эриш температураси орасидаги боғланниш учланган нүқтада бошланувчи эриш эрги чизиги билан тасвирланади. Шундай қилиб, учланган нүқта иккита фазанинг, чунончай қаттиқ ва суюқ, суюқ ва газ, ниҳоят, қаттиқ ва газ фазаларни мувозанат шароитларини аниқловчи учта эрги чизиқнинг кесишиш жойнда ётар экан. Эриш эрги чизиги қаттиқ ва суюқ фазаларнинг солиштирма ҳажмларни орасидаги муносабатга қараб, 331-расмда кўрсатилганидек ( $\frac{dp}{dT} > 0$ ) ёки 332-расмда кўрсатилгандек ( $\frac{dp}{dT} < 0$ ) бўлади.



331-расм.



332-расм.

Эриш, буғланиш за сублимация әгри чизиқлари координаталар текислигини учта соҳага бўлади. Сублимация ва эриш әгри чизиқларидан чап томонда қаттиқ фаза соҳаси ётади, эриш ва буғланиш әгри чизиқлари орасида суюқ ҳолатлар соҳаси ётади ва нижоят, буғланиш ва сублимация әгри чизиқларидан ўнг томонда модданинг газ ҳолатлари соҳаси ётади. Бу соҳалардан бирда олинган ҳар қандай нуқта модданинг тегишли бир фазали ҳолатини тасвирлайди (хамиша мувозанатли ҳолатлар, яъни ташки шароитлар ўзгармаганда модда истаганча узоқ вақт бўла оладиган ҳолатлар назарда тутилади). Соҳаларни бир-биридан ажритиб турган әгри чизиқлардан бирда олинган ҳар қандай нуқта модданинг тегишли икки фазасининг мувозанат ҳолатини тасвирлайди. Учланган нуқта модданинг учала фазасининг мувозанат ҳолатини тасвирлайди.

Шуидай қилиб, диаграммадаги қар бир нуқта модданинг маълум бир мувозанат ҳолатини тасвирлайди. Шунинг учун бу диаграмма ҳолат диаграммаси деб атади.

Кристалл модификациялари бир нечта бўлган модда учун ҳолат диаграммаси анча мураккаб бўлади. Турли хил кристалл модификациялари сони иккига тенг бўлган ҳолга оид диаграмма 333-расмда тасвирланган. Бу ҳолда учланган нуқта иккита бўлади. Расмдаги йи нуқтада суюқлик, газ ва модданинг биринчи кристалл модификацияси мувозанатда бўлади, Ўч нуқтада эса суюқлик ва модданинг иккала кристалл модификацияси мувозанатда бўлади.

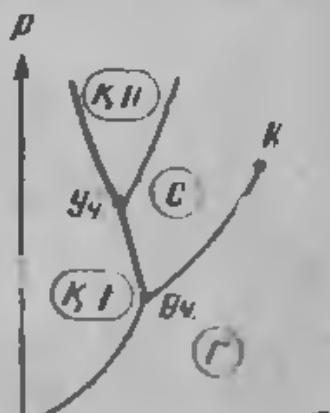
Аниқ бир модданинг ҳолат диаграммаси эксперимент маълумотларига қараб тузилди. Модданинг ҳолат диаграммаси маълум бўлса, ҳар хил шаронгларда ( $p$  ва  $T$  инг турли хил қийматларида) модда қандай ҳолатда бўлишини, шунингдек турли хил процессларда модда бир ҳолатдан қандай бошқа ҳолатга айланишини олдиндан айтиш мумкин.

Буни куйидаги мисодлар устида тушунтириб ўтамиз.

Агар  $I$  пукта (331-расмга қ.) мос келадиган ҳолатда модда олиб уни изобарик равишда иситсан, унда модда  $I - 2$  пунктир тўғри чизиқ билан кўрсатилган ҳолатлардан, яъни кристалл—суюқлик—газ ҳолатлардан бирин-кетин ўтади. Агар ўша моддани  $3$  нуқта билан белгиланган ҳолатда олиб, уни ҳам изобарик равишда иситсан, ҳолатлар кетма-кетлиги бошқача бўлади ( $3 - 4$  пунктир тўғри чизиқ): кристаллар суюқликка айланмасдан, бевосита газга айланниб кетади.

Ҳолат диаграммасидан шу нарса кўранадики, суюқ фаза учланган нуқтанинг босимидан кичик бўлмаган босимлар шаронтидагина мувозанат ҳолатида бўла олади (бу фикр 333-расмдаги  $II$  қаттиқ фазага ҳам тегишини).  $p_{uz}$  дан кичик босимларда суюқлик ўта сөвиган ҳолатда бўлади.

Одатдаги кўпчилик моддаларга тегишли учланган нуқта атмосфери босимидан анча пастда ётади, шунинг учун бу моддалар қат-



333-Г

тиқ ҳолатдан газ ҳолатга оралықдаги суюқ ҳолат орқали үтади. Масалан, сувининг учланган нүктасига  $4,58 \text{ mm}$  сим. уст. босим ва  $0,0075^\circ\text{C}$  температура мөс келади.

Қарбонат ангидриддиниг учланган нүктасига  $5,11 \text{ atm}$  босим ва  $-56,6^\circ\text{C}$  температура мөс келади. Шунинг учун карбонат ангидриди атмосфера босими шароитида фақат қаттық ҳолатда ёки газ ҳолатида бұла олади. Қаттық карбонат ангидрид (қуруқ муз) бевосита газга айланади. Карбонат ангидриддиниг атмосфера босими шароитндаги сублимация температуриси  $-78^\circ\text{C}$  га тең.

Агар кристалларнинг солиштирма ҳажми суюқ фазанинг солиштирма ҳажмидан ортиқ бўлса, баъзи процессларда модданнинг характеристери жуда ҳам ўзига хос бўлиши мумкин. Масалан, шундай моддани I нүкта билан тасвирланган ҳолатда ( $332$ -расмга к.) олиб, уни изотермик равишда сиқамиз. Бундай сиқишида босим ортади ва процесс диаграммада вертикал тўғри чизик билан (расмдаги I — 2 пункттир тўғри чизик) тасвирланади.  $332$ -расмдан кўринадики, босим ошганда модда қуйидаги ҳолатларда бўлиб үтади: газ—кристаллар—суюқ ҳолат. Модда ҳолатининг бундай кетма-кетлиги учланган нүкта температурасидан кичик температуralарда юз бериши равишан.

Пировардида ҳолат диаграммасининг яна бир хусусиятини айтиб үтамиз. Буғланиш эгри чизиги критик  $K$  нүктада тугайди. Шу сабабли суюқ ҳолатлар соҳасидан газ ҳолатлар соҳасига критик нүктани айланаб, буғланиш эгри чизиги билан кесишинасдан ўтиш мумкин ( $332$ -расмда пункттир билан кўрсатилган  $3 - 4$  ўтиш процесси). Бундай ўтиш процессининг ( $p, V$ ) диаграммада қандай тасвирланиши  $276$ -расмда кўрсатилган. Бу ҳолда модданнинг суюқ ҳолатдан газ ҳолатга (ва тескари тартибда) ўтиш процесси бир фазали ҳолатлар кетма-кетлиги орқали узлуксиз равишида юз беради.

Суюқ ва газ ҳолатларнинг бир-бирига узлуксиз ўтишининг сабаби шундаки, улар бир-биридан сифат жиҳатидан эмас, балки миқдор жиҳатидан фарқ қиласи, жумладан бу ҳолатларнинг иккаласида ҳам анизотропия йўқ. Кристалл ҳолатининг суюқ ёки газ ҳолатга узлуксиз ўтиши мумкин эмас, чунки кристалл ҳолатининг ўзига хос томони анизотропиядир. Анизотропияга эга бўлган ҳолатдан зизотропияси бўлмаган ҳолатга ўтиш процесси сакраб юз беради — анизотропия қисман бўлиши мумкин эмас, у ё бўлади ё бўлмайди, учинчи имконият бўлиши мумкин эмас. Шу сабабли сублимация эгри чизиги ва эриш эгри чизиги, буғланиш эгри чизиги критик нүктада ўзилиб қолгани каби, узилиб қололмайди. Сублимация эгри чизиги  $p = 0$  ва  $T = 0$  нүктага келади, эриш эгри чизиги чексизликка кетади.

Худди шунингдек, бир кристалл модификациядан бошқасига ўтиш процесси қам узлуксиз юз бериши мумкин эмас. Модданнинг турли хил кристалл модификациялари бир-биридан ўзларига хос симметрия элементлари билан фарқ қиласи. Бирор симметрия элементи бор бўлиши ёки бутунлай бўлмаслиги сабабли бир қаттық фазадан бошқа қаттық фазага ўтиш процесси фақат сакраб юз беради. Шунинг учун иккита қагтиқ фазанинг мувозанатда бўлиш эгри чизиги, эриш эгри чизиги каби, чексизликка кетади.

## BIRINCHI VA IKKINCHI TUR FAZAVIY O'TISHLAR

Birinchi tur fazaviy o'tishlarga modda agregat holatining o'zgarishi misol bo'la oladi. Masalan, moddaning suyuq va gazsimon holatdan qattiq holatga o'tishi (kristallanish), suyuqlikning bug'lanishi va aksincha o'tishlar birinchi tur fazaviy o'tishlardir. Bu turdag'i fazoviy o'tishlarda jism energiya ajratadi yoki yutadi. Shu sababli energiyaning yoki energiya bilan bog'liq bo'lgan boshqa kattaliklarning sa-krashsimon o'zgarishi bilan bo'ladigan fazaviy o'tishlar birinchi tur fazaviy o'tishlar deb ataladi.

Birinchi tur fazaviy o'tishlarda yangi faza birato'la butun hajmda paydo bo'lmaydi. Dastlab, yangi fazaning markazlari hosil bo'lib, so'ngra ular o'sib butun hajmga tarqaladi.

Moddaning qattiq holati turli kristall tuzilishlarga, ya'ni turli modifikasiyalarga ega bo'lishi mumkin. Masalan, qattiq uglerod grafit yoki olmos ko'rinishida mavjud bo'la oladi. Qattiq temir to'rt xil modifikasiyada ( $\alpha$  -,  $\beta$  -,  $\gamma$  - va  $\delta$  temir) mavjud bo'lishi mumkin. Ba'zi suyuqliklar ham turli modifikasiyalar ko'rinishida mavjud bo'la oladi. (masalan, suyuq geliy I va geliy II). Harorat va bosim o'zgarganda ba'zi modifikasiyalar boshqalariga aylanishi mumkin. Bunday aylanishlar ikkinchi tur fazaviy o'tishlar deb ataladi.

Ikkinchi tur fazaviy o'tishlarda issiqlik ajralmaydi yoki yutilmaydi, shuningdek, moddaning solishtirma hajmi o'zgarmaydi. Bunday o'tish butun hajmda kristall panjaraning uzlusiz o'zgarishi, ya'ni panjarada zarralarning o'zaro qayta joylashishi natijasida darhol ro'y beradi. Odatda bunday o'tish ma'lum bir haroratda ro'y beradi. Ikkinchi tur fazaviy o'tish sodir bo'ladigan bu haroratga Kyuri nuqtasi deb ataladi. O'tish nuqtasida ikki turli fazaning muvozanati bo'lmaydi, chunki o'tish butun hajmda birdaniga sodir bo'ladi. Bunday o'tishda issiqlikning ajralishi yoki yutilishi ro'y bermasada, o'tish nuqtasidan yuqori va past haroratlarda moddaning issiqlik sig'imi va hajmiy kengayish koeffitsiyenti turlicha bo'ladi.

Ba'zi bir ikkinchi tur fazaviy o'tishlarda kristall tuzilishining o'zgarishi ro'y bermaydi. Masalan, magnit qotishmalarning ferromagnit holatdan paromagnit holatga o'tishi bunday o'tishga taaluqlidir. Ba'zi metallarning normal holatdan o'ta o'tkazuvchan

holatga o'tishi ham shunday o'tishga misol bo'ladi. Bu jarayon mutlaq nolga yaqin haroratda yuz beradi va unga elektr qarshilikning nolgacha sakrashsimon kamayishi xosdir.

Fazaviy o'tishlarda asosiy rolni fizikaviy kattaliklarning fluktuasiyalari o'ynaydi. O'tish nuqtasi yaqinida fluktuasiya bilan qamrab olingan hajmda yangi faza hosil bo'lish ehtimoli ortadi. Masalan, zichlikning fluktuasiyasi kristallanish markazining yuzaga kelishiga sabab bo'ladi. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o'tishlarda o'tish nuqtasi yaqinida fluktuasiyalar turlicha rivojlanadi.

Birinchi tur fazaviy o'tishlarda o'tish nuqtasiga yaqinlashgan sari yangi fazaga sabab bo'ladigan fluktuasiyalar soni ortib boradi va ularning hosil bo'lish joylarida yangi fazaning markazlari paydo bo'la boshlaydi. Ikkinci tur fazaviy o'tishlarda yangi faza birdaniga butun hajmda paydo bo'ladi. Shu sababli har qanday mikroskopik fluktuasiyalar fazaviy o'tishga olib kelmaydi. O'tish nuqtasiga juda yaqin bo'lgan holatlarda yuzaga keluvchi fluktuasiyalargina yangi fazaning vujudga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. O'tish haroratiga yaqinlashgan sari yangi fazaga o'tishga sabab bo'luvchi fluktuasiyalar moddaning tobora katta hajmni qamrab oladi va nihoyat o'tish nuqtasida ular cheksiz ko'p bo'lib qoladi, ya'ni yangi faza butun hajmda birdaniga hosil bo'ladi.

Ikkinci tur fazaviy o'tishlar birinchi tur fazaviy o'tishlarga nisbatan ancha murakkab bo'lib, o'tish nuqtasi atrofida bo'ladigan hodisalar va jarayonlar hali oxirigacha to'liq o'r ganilgan emas.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

- 1. Fazaviy o'tish deganda nimani tushunasiz?**
- 2. Fazaviy diagrammani izohlang?**
- 3. Erish qanday jarayon?**
- 4. Bug'lanishni izohlang?**
- 5. Kondensatsiya jarayonini izohlang?**
- 6. Qaynash qanday jarayon?**

## 24-mavzu: Kritik holat va parametrlar. Van-der-Vaals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan solishtirish.

**Reja:**

1. Kritik holat haqida ma'lumot.
2. Kritik parametrlar.
3. Van-der-Vaals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan solishtirish.

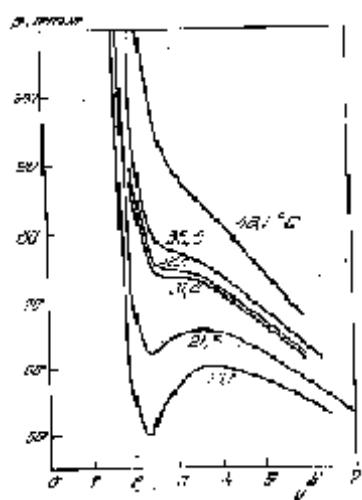
**Tayanch so'z va iboralar: Kritik holat, kritik parametr, Van-der-Vaals tenglamasi**

*Kritik temperatura va kritik holat.*

Avvalgi paragrafda biror ixtiyoriy temperaturadagi Van-der-Vaals izotermasini ko'rdik. endi temperatura o'zgarganida bu izotermalarning qanday o'zgarishini ko`raylik. Van-der-Vaals izotermalarining temperaturaga bog`liq ravishda o'zgarish xarakteri 16-rasmda ko`rsatilgan. Rasmda karbon oksidiga tegishli qator izotermalar berilgan (bu yerda abstsissalar o`qi bo`ylab solishtirma hajm qo'yilgan). Bu izotermalar  $a$  va  $b$  konstantalarning tajribadan olingan

$$a = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{m}^6/\text{mol}, \quad b = 42,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

qiymatlari uchun hisoblangan. Bu konstantalarning eksperimental ravishda qanday aniqlanishi quyida ko`rsatiladi.



16-rasmda aniq bir  $T_k$  temperaturada hajmnинг uchala qiymati birday bo`ladi (tenglamaning ildizlari karrali bo`lib qoladi). Bu temperaturada modda-ning turli holatlari orasidagi farq yo`qoladi. Bu temperatura kritik temperaturadir, bu temperaturaning mavjud bo`lishi moddaning xarakterli xossasi ekanini biz ko`rgan edik.

$T_k$  kritik temperatura va bu temperaturaga mos keluvchi qolgan ikki kritik parametr —  $V_k$  kritik hajm va  $r_k$  kritik bosim qiymatlarini hisoblash qiyin emas.

16-rasm.

Haqikatan ham, Van-der-Vaals tenglamasi (125) ning chap qismi, ya`ni quyidagi

$$V^3 - \left( b + \frac{RT_k}{p_k} \right) V^2 + \frac{a}{p_k} V - \frac{ab}{p_k} = 0$$

ifoda  $T = T_k$  va  $r = r_k$  qiymatlarda aniq kub bo`ladi, binobarin, uni quyidagi ko`rinishda ifodalash mumkin:

$$V^3 - \left( b + \frac{RT_k}{p_k} \right) V^2 + \frac{a}{p_k} V - \frac{ab}{p_k} = V^3 - 3V_k V^2 + 3V_k^2 V - V_k^3. \quad (126)$$

Bu tenglik ayniy ravishda bajarilishi uchun  $V$  ning birday dara-jalarining koeffitsientlari tenglamaning ikki tomonida o`zaro teng bo`lishi kerak:

$$b + \frac{RT_k}{p_k} = 3V_k, \quad \frac{a}{p_k} = 3V_k^2, \quad \frac{ab}{p_k} = V_k^3.$$

Bu tenglamalar sistemasini echib, kritik parametrlarning  $a$  va  $b$  konstantalar orqali ifodalangan qiymatlarini olamiz:

$$p_k = \frac{a}{27b^2}, \quad V_k = 3b, \quad T_k = \frac{8a}{27Rb}. \quad (127)$$

Van-der-Vaals tenglamasini yanada batafsilroq matematik analiz qilishdan ham shu natijalarni olish va yana ba`zi boshqa xulosalarga kelish mumkin. Buning uchun uni quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}. \quad (128)$$

Avval, Van-der-Vaals izotermasidagi maksimum va minimumga mos keluvchi hajm qiymatlarini aniqlaylik. Bu ikkala nuqtada ham bosimdan hajm bo`yicha olingan birinchi hosila nolga teng bo`ladi:

$$\frac{\partial p}{\partial V} = 0.$$

(128) tenglikni differentialsallab va hosilani nolga tenglab shunday yozamiz:

$$\frac{\partial p}{\partial V} = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^2} = \frac{2a}{(V-b)^2} \left[ \frac{(V-b)^2}{V^3} - \frac{RT}{2a} \right].$$

Bundan  $\frac{\partial p}{\partial V} = 0$  shartning bajarilishi uchun

$$\frac{(V-b)^2}{V^3} = \frac{RT}{2a} \quad (129)$$

bo`lishi kerak ekanligi ko`rinib turibdi. Bu tenglama kub tenglamadir. Bundan shunday xulosa kelib chikadi: har qanday  $T$  da, ya`ni har qanday izoterma uchun  $V$  ning bu izoterma maksimum va minimumdan o`tadigan uchta qiymati bor. Bu qiymatlardan biri izotermadagi minimumga, boshqasi esa maksimumga tegishlidir; ularning mayjudligiga izotermani bevosita yasayotganimizda ishonch hosil qildik. Uchinchi qiymatiga, ya`ni uchinchi ekstremumga kelganda shuni aytish kerakki, u  $V < b$  sohada yotadi va fizikaviy ma`noga ega emas. Endi temperaturaning biror  $T = T_k$  qiymatida izotermaning maksimum va minimumi birlashib ketishini va ularning

birlashgai nuqtasida egri chiziqning bukilish nuqtasi bo`lishini, ya`ni bu nuqtada ikkinchi hosila ham nolga aylanishini ko`rsataylik. Buning uchun birinchi hosila nolga teng bo`lgan nuqtalarda ikkinchi hosila  $\frac{\partial^2 p}{\partial V^2}$  ning qiymatlarini topaylik.  $r$  dan  $V$  bo`yicha olingan ikkinchi hosila quyidagiga teng bo`ladi:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial V^2} = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{V^4}. \quad (130)$$

$\frac{\partial p}{\partial V} = 0$  bo`lgan nuqtalarda (129) shart bajariladi. endi (130) ga  $T$  ning (129) dagi qiymatini qo`yamiz. U holda quyidagini hosil qilamiz:

$$\left( \frac{\partial^2 p}{\partial V^2} \right)_{\substack{RT = (V-b)^2 \\ 2a = V^3}} = \frac{2a(3b-V)}{V^4(V-b)}. \quad (131)$$

Bundan  $V = 3b = V_k$  bo`lganda  $\frac{\partial^2 p}{\partial V^2} = 0$  bo`lishi kelib chiqadi.

Agar  $V$  ning bu qiymatini (129) ga qo`ysak, u holda bukilish nuqtasida  $T$  uchun shunday tenglikni olamiz:  $T = \frac{8a}{27Rb} = T_k$ . SHunday qilib,

$$T = T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad \text{va} \quad V = V_k = 3b$$

bo`lganda Van-der-Vaals izotermasi bukilishga ega bo`lar ekan, bu nuqtada

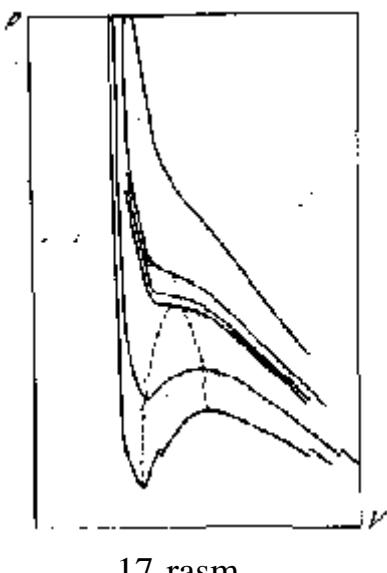
$$\frac{\partial p}{\partial V} = 0 \quad \text{va} \quad \frac{\partial^2 p}{\partial V^2} = 0$$

bo`ladi.

$T_k = \frac{8a}{27Rb}$  kritik temperaturaning o`zidir.  $T > T_k$  da  $\frac{\partial p}{\partial V} = 0$  hosilaning hamma sharoitlarda ham  $\frac{\partial p}{\partial V} < 0$  bo`lishi kelib chiqadi. Bundan  $T_k$  kritik temperaturadan yuqori temperaturalarda izoterma monoton kamayuvchi egri chiziq ekan (hosila hamma vaqt manfiy) degan xulosa chiqadi. Kritik  $r_k$  bosimning qiymatini Van-der-Vaals tenglamasidan chiqarish uchun bu tenglamaga  $T_k$  va  $V_k$  ning topilgan qiymatlarini qo`yish kifoya:

$$r_k = \frac{a}{27b^2}.$$

SHunday qilib, biz boshqacha yo`l bilan kritik parametrlar uchun (127) formulani keltirib chiqardik.



17-rasm.

SHunday yo`l bilan bir izotermadan ikkinchi izotermaga o`tishda maksimum va minimum orasidagi masofaning o`zgarishini ham topish mumkin. Buning uchun izotermalarning maksimumlari va minimumlari orqali o`tgan egri chiziqning tenglamasini topish etarli. Bu egri chiziq 17-rasmida punktir chiziq bilan tasvirlangan (bu egri chiziq ikki fazali holatlar sohalarini ajratishini biz yuqorida ko`rgan edik).

Bu egri chiziqning nuqtalari ayni bir vaqtda Van-der-Vaals tenglamasi

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

ni va (129) tenglamani qanoatlantirishi ravshan. Bu ikki tenglamadan  $T$  ni yo`qotib, bizni qiziqtirgan tenglamani hosil qilamiz:

$$p = \frac{a(V - 2b)}{V^3}.$$

Bu tenglama izotermalarning maksimumlari va minimumlari orqali o`tuvchi egri chiziqning tenglamasidir. Agar  $V$  bo`yicha hosila olib, uni nolga tenglasak bu egri chiziqning maksimumini topamiz:

$$\frac{\partial p}{\partial V} = \frac{2a(3b - V)}{V^4} = 0.$$

Bundan

$$V = 3b = V_k,$$

ya`ni punktir chiziqning maksimumi kritik izotermaning burilish nuqtasi bilan ustma-ust tushar ekan, bu nuqtaning  $V_k = 3b$  qiymatga to`g`ri kelishini bilamiz.

Kritik nuqtada moddaning siqiluvchanligi cheksizlikka teng bo`lishini qayd qilib o`tish kerak. Haqiqatan ham, siqiluvchanlik

$$\chi = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}.$$

Biroq kritik nuqtada  $\frac{\partial p}{\partial V} = 0$  bo`lgani uchun  $\frac{\partial V}{\partial p} = \infty$ , binobarin,  $\chi$  ham  $\infty$  ga teng bo`ladi.

## Mustahkamlash uchun savollar.

1. Kritik holat deganda nimani tushunasiz?
2. Kritik temperatura nima?
3. a va b qanday koeffitsientlar?
4. a va b koeffitsientlarning birligi nima?
5.  $\chi = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}$ . ifodani izohlang?
6. Kritik bosim deganda nimani tushunasiz?
7. Kritik hajm deganda nimani tushunasiz?

**25-mavzu: Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi. Mos holatlar qonuni.**

**Reja:**

1. **Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi.**
2. **Mos holatlar qonuni.**

**Tayanch so'z va iboralar: Kritik holat, kritik parametr, Van-der-Vaals tenglamasi, mos holatlar qonuni.**

Ayni bir temperaturada turli gazlar uchun yasalgan izotermalar turlicha ko`rinishga ega bo`ladi, albatta, chunki  $a$  va  $b$  konstantalar va ular bilan bog`liq bo`lgan  $r_k V_k$  va  $T_k$  kritik kattaliklar turli gazlar uchun turlicha bo`ladi. Ideal gazlarning izotermalari gazlarning individual xossalariiga bog`liq bo`lmasligini (agar izotermalar bir mol uchun yasalgan bo`lsa) eslatib o`tamiz.

Biroq noideal (real) gazlar uchun ham izoterma tenglamasini gaz tabiatiga bog`liq bo`lmaydigan qilib, ya`ni universal qilib yozish mumkin. Buning uchun gaz holatining parametrlari mos kritik parametrlar bilan birday nisbatlarda bo`lishi kerak. Boshqacha aytganda, birday nisbatli (yoki boshqacha aytganda, mos nisbatli) ixtiyoriy gazlar identik tenglamalar bilan tavsiflanadi:

$$\frac{T}{T_k} = \theta, \quad \frac{p}{p_k} = \pi \quad \text{va} \quad \frac{V}{V_k} = \omega.$$

$\theta$ ,  $\pi$  va  $\omega$  o`lchamsiz parametrlar *keltirilgan parametrlar* deyiladi.

**Van-der-Vaals tenglamasi**

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

dagi  $r$ ,  $V$  va  $T$  lar o`rniga mos ravishda  $\pi p_k$ ,  $\omega V_k$  va  $\theta T_k$  larni qo`ysak,  $r_k V_k$  va  $T_k$  larni (127) tenglamalar bo`yicha ifodalasak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) \left( \omega - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \theta. \quad (132)$$

Bu tenglamada alohida moddani xarakterlaydigan konstantalar yo`q. SHuning uchun bu tenglama barcha moddalar uchun o`rinli bo`lgan universal tenglamadir. (132) tenglama *keltirilgan holat tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamadan shu narsa kelib chiqadiki, agar moddalarda bu uch keltirilgan parametrdan *ikkitasi* birday bo`lsa, u holda bu moddalarning *uchinchi* keltirilgan parametrлari ham birday bo`ladi. Bu qonun *mos holatlar qonuni* deb ataladi. Bu qonun shunday dalilni ifodalaydi: moddaning holatini xarakterlovchi uch kattalikda *ikkitasi* o`lchanadigan (masalan,  $r$  va  $V$ ) masshtabni o`zgartirish yo`li bilan, ya`ni keltirilgan parametrлardan foydalanish yo`li bilan barcha moddalarning izotermalarini ustma-ust tushirish mumkin. Mos holatlar qonuni ham taqrifiy qonun bo`lib, uning aniqligi Van-der-Vaals tenglamasining o`zining aniqligidan birmuncha yuqoriqoqdir, chunki bu qonun holat tenglamasining konkret ko`rinishiga bog`liq bo`lmaydi. Mos holatlar qonuni yordamida turli gazlarning noma`lum izotermalarini hisoblash mumkin, buning uchun ularning kritik parametrлari ma`lum bo`lishi va boshqa gazlarning izotermalari o`lchangan bo`lishi kerak.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Mos holatlar qonuni deganda nimani tushunasiz?
2. Keltirilgan holat tenglamasini izohlang?
3. Kritik parametrлarni izohlang?
4. Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi deganda nimani tushunasiz?
5. Turli gazlarning noma`lum izotermalarini qanday hisoblash mumkin?

## **26-Mavzu: Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni. Siklik jarayon va Karno sikli.**

### **Reja:**

1. Muvozanatli va muvozanatsiz jarayonlar.
2. Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar.
3. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni.
4. Siklik jarayon va Karno sikli.
5. Issiqlikning mexanikaviy ishga aylantirish.

**Tayanch so'z va iboralar:** Termodinamik jarayonlar, qaytuvchan va qaytmas jarayonlar, Termodinamikaning birinchi bosh qonuni, issiqlik, mexanikaviy ish, Siklik jarayon va Karno sikli.

*Bu mavzuda talabalarga termodinamik jarayonlar, qaytuvchan va qaytmas jarayonlar, Termodinamikaning birinchi bosh qonuni, issiqlik, mexanikaviy ish to'g'risida tushuncha va ma'lumotlar beriladi.*

***Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:***

- 1) Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
- 2) Tabiatda ro'y beradigan jarayonlar qanday termodinamik jarayonga kiradi?
- 3 ) Termodinamikaning birinchi bosh qonuni?
- 4) Qanday usulda issiqlikni mexanikaviy ishga aylantiriladi?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [6].

### **Termodinamika elementlari. Muvozanat va muvozanatsiz jarayonlar.**

Gazlarning kinetik nazariyasi – molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari kamliyi tufayli bu molekulalarni erkin deb hisoblash mumkin bo`lgan ideal gazlardagi ko`plab hodisalarini oson tushuntiradi. O`zaro ta'sir kuchlarini, masalan, real gazlardagi singari nazarga olmaslik mumkin bo`lmagan hollarda nazariya ularda bo`ladigan hodisalarini unchalik aniq tavsiflamaydi. Buning sababi shuki, ko`p hollarda molekulaga ta'sir qiluvchi barcha kuchlarni nazarga olish mumkin bo`lmagan uchun molekulyar harakatning batassil manzarasi noma'lum bo`ladi. Har qanday molekulyar sistema ham bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi, uzlusiz harakatlanuvchi va o`zlarining o'zaro joylashishini o`zgartiruvchi ko`p sonli zarralardan tashkil topgan. Bunday sharoitlarda vaqtning istalgan momentida molekulalarga ta'sir qiluvchi kuchlarni aniq bilish va demak, ularning harakatini bilishning iloji bo`lmaydi. SHuning uchun molekulyar harakatlar va moddaning xossalari orasidagi aloqani nazariy aniqlash mumkin emas.

SHunga qaramay, moddaning qator xossalari, undagi ko`plab hodisalarini, molekulyar harakatlar mexanizmini batassil bilmasdan turib ham o`rganish mumkin, buning uchun makroskopik kattaliklardagina, ya`ni moddani butunicha xarakterlaydigan, biroq alohida zarralarga qo'llash ma`nosiz bo`lgan kattaliklardan foydalanish kerak. Bunday kattaliklarga avvalo bosim va temperatura kiradi. Avval ko`rganimizdek, bu kattaliklar faqat ko`p sonli zarralar to`plamiga nisbatangina ishlatalganda ma`noga ega. Yagona bir molekulaning bosimi va temperaturasi

haqida gapirish mumkin emas. Bu narsa har ikki kattalikning zarralarning o`rtacha kinetik energiyasi bilan aniqlanishidanoq kelib chiqadi.

Bunga o`xhash hol bilan biz mexanikada duch kelgan edik. Sof mexanikaviy harakatga tegishli qator masalalarini echishda bu harakatni xarakterlaydigan assosiy parametrlarni, ya`ni sistema alohida jismlarning vaqtning ihmoriy paytidagi koordinatalari va impul'slarini aniqlash qiyin bo`ladi. Bunday hollarda butun sistemaga tegishli bo`lgan umumiy qonunlar yordam beradi. Bunday qonunlar energiyaning va impul'sning saqlanish qonunlaridir. Bu qonunlardan jismlar o`zaro ta`sirining xarakteri va ularning harakatini bilmagan holda foydalanish mumkin, chunki ular ixtiyoriy harakatlar va ixtiyoriy o`zaro ta`sirlar uchun o`rinlidir.

SHunga o`xhash modda zarralarining issiqlik harakatlari bilan bog`liq bo`lgan xossalarni o`rganishda hamda molekulalarning harakatining xarakteriga bog`liq bo`lmagan, ular orasidagi o`zaro ta`sirga, moddaning strukturasiga bog`liq bo`lmagan ba`zi umumiy qonunlardan foydalaniladi. Bu umumiy qonunlar energiyaga, uning o`zgarishlariga va unga bog`liq bo`lgan kattaliklarga tegishlidir.

Fizikaning moddaning moddaning muvozanat sharoitlaridagi issiqlik harakati bilan bog`liq bo`lgan umumiy xossalarni o`rganuvchi qismi *termodinamika* deb ataladi.

Fizikada termodinamikaning alohida o`rni shu narsa bilan bog`liqki, quyida bayon qilinadigan sabablarga ko`ra energiyaning ixtiyoriy shakli uning o`zaro aylanishlarida, pirovardida, issiqlik harakati energiyasiga o`tadi. Agar, masalan, mexanikaviy harakat protsessida jism yoki jismlar sistemasining energiyasi ishqalanish kuchlarining ta`sirida kamaysa, buning sababi bu energiyaning issiqlikka o`tishi – ishqalanuvchi jismlarning isishiga sarf bo`lishidir. elektr tokining energiyasi, yorug`lik energiyasi, ximiyaviy reaksiyalar energiyasi va hokazo boshqa energiyalar ham issiqlikka aylanishi mumkin. energiyaning har bir turi bir turdan ikkinchi turga aylanishlarda energiyaning turli shakllariga aylanishi mumkin, biroq bu barcha aylanishlarning nihoyasida natija issiqlik energiyasi bo`ladi.

Mexanikaviy energiyaning issiqlik energiyasiga aylanishi va aksincha issiqlik energiyasi hisobiga mexanikaviy ish bajarish eng katta amaliy ahamiyatga ega. Bu masalani biz batafsil ko`rib chiqamiz.

Biroq bu masalaga kirishishdan va termodinamikaning qonunlarini ifodalashdan avval *muvozanat* haqidagi muhim masalaga, ya`ni xuddi mexanikada kiritilgani singari termodinamikaga kiritiladigan tushunchaga birmuncha ahamiyat beraylik.

Mexanikada jismlarning tinch turgandagi holati (albatta, qandaydir koordinatalar sistemasiga nisbatan) muvozanat holati deb ataladi. Termodinamikada muvozanat tushunchasi birmuncha kengroq.

*Agar sistemaning holatini belgilovchi makroskopik kattaliklar o`zgarmas bo`lsa* (o`zining o`rtacha qiymatiga tengligicha qolsa), *sistema termodinamik muvozanatda bo`ladi*. Birinchi navbatda bu bosim va temperaturaga tegishlidir. SHuning uchun muvozanat holatida issiqlik o`tkazuvchanlik, diffuziya, ximiyaviy reaksiyalar, fazaviy o`tishlar singari hodisalar sodir bo`lmaydi.

Biroq termodinamik muvozanat (uni ba`zida *statistik muvozanat* deb ham yuritiladi) mexanikaviy muvozanatdan shunday muhim tomoni bilan farq qiladiki, unda sistemani xarakterlovchi makroskopik kattaliklar o`zgarmay qolsa-da, sistemani tashkil qilgan zarralar (atomlar, molekulalar) o`zlarining murakkab harakatlarini to`xtatmaydi. Zarralarning bunday harakatlari sistemaning o`zgarishsiz qolishiga xalal bermasligiga sabab bu zarralar sonining ko`pligidir.

### **Qaytar va qaytmas protsesslar**

Agar sistema biror sababga ko`ra muvozanat holatida bo`lmasa yoki muvozanat holatidan chiqarilib, so`ngra o`z-o`zicha qoldirilgan bo`lsa (ya`ni hech qanday tashqi kuchlar ta`sirida bo`lmasa), u holda sistema o`z-o`zidan muvozanat holatiga o`tishini tajriba ko`rsatadi. Hatto shunday ta`rif ham berish mumkin: muvozanat holati – har qanday molekulyar sistemaning unga tashqi kuchlar ta`sir qilmaganda o`tadigan holatidir. Muvozanat holatiga o`tish protsessi *relaksatsiya*, buning uchun kerak bo`lgan vaqt esa *relaksatsiya vaqti* deb ataladi.

Biroq muvozanat qaror topgandan so`ng, tajribaning ko`rsatishicha, sistema o`z-o`zidan dastlabki muvozanatsiz holatiga qayta olmas ekan. Boshqacha aytganda, sistemaning muvozanat holatga o`tishdagi o`zgarishlari tashqi ta`sirsiz teskari ravishda ro`y berishi mumkin emas ekan.

Masalan, bir-biriga tegib turgan ikki jismning dastlab temperaturalari turlicha bo`lgan va ular o`z holiga qo`yilgan bo`lsa, u holda, nihoyat, ularning temperaturalari tenglashadi. Biroq teskari protsess – ular orasidagi temperatura farqining ortishi – tashqi ta`sirsiz ro`y berishi mumkin emas.

Gaz o`z-o`zidan butun idish hajmi bo`ylab tarqaladi va bunday holat muvozanat holatga mos keladi. Biroq tashqi kuchlar ta`sirisiz gaz hech vaqt idishning bir qismida uning boshqa qismidagiga nisbatan katta miqdorda (katta zichlik bilan) to`planmaydi.

Xuddi shuningdek, agar idishga ikki xil gaz qamalsa, u xolda ular o`zaro diffuziya tufayli aralashib ketadi va aralashmaning tarkibi hamma joyda birday bo`ladi. Bu muvozanat holat bo`ladi. Biroq bu gazlarni qaytadan ajratish uchun tashqaridan ancha katta kuch talab qilinadi.

Keltirilgan misollar molekulyar sistemalarda ro`y beradigan protsesslarning muhim xususiyatini – ularning *qaytmas* protsesslar ekanini ko`rsatadi. Bu molekulyar protsesslar qat'iy *qaytish* xarakteriga ega bo`lgan sof mexanikaviy sistemalardan shu jihat bilan farq qiladi.

*Qaytar protsess deb sistema* (yoki alohida bir jism) *holatining shunday o`zgarishiga aytiladiki, bu protsess teskari yo`nalishda amalgalashuvda sistema xuddi to`g`ri protsessda o`tgan oraliq holatlari orqali teskari ketma-ketlikda o`tib, o`zining dastlabki holatiga qaytsin, biroq sistemadan tashqaridagi jismlarning holati esa o`zgarmay qolsin.*

Mexanikada ko`rildigan barcha harakatlar *qaytar* protsesslar bo`lib, bundan faqat ishqalanish kuchlari ishtirok etadigan harakatlarga mustasnodir (chunki ishqalanish kuchlari ta`sirida issiqlik ajraladi va bunda protsess sof mexanikaviy protsess bo`lmay qoladi).

Masalan, tamoman elastik shar qattiq sirtga tushayotgan bo`lsa, u holda sharning potentsial energiyasi kinetik energiyasiga aylanadi, shuning uchun shar tushayotgan sirtga urilgan paytda, agar shar pastga harakatlanayotganda uning havoga ishqalanish kuchlari bo`lmasa, uning kinetik energiyasi dastlabki potentsial energiyasiga aniq teng bo`ladi. SHar sirtga urilgan vaqtida ulardagি deformatsiya tufayli elastiklik kuchlari yuzaga keladi, agar protsess to`xtatilmasa, bu kuchlar sharni yuqoriga qarab teskari harakatlanishga majbur qiladi. Bunda yana potentsial energiya, endi bunda deformatsiya energiyasi, shar harakatining kinetik energiyasiga aylanadi, shar o`zi tushishni boshlagan balandlikka ko`tariladi. Bu protsess ko`p marta takrorlanishi mumkin. Ravshanki, sharning yuqoriga ko`tarilishi uning tushishiga teskari protsess va shar ko`tarilayotganda xuddi uning tushishidagi koordinatalari va tezliklari bilan belgilanadigan oraliq holatlari orqali teskari tartibda o`tadi. Binobarin, bu sof mexanikaviy protsess qaytar protsessdir.

To`g`ri, protsess xuddi hozir biz bayon qilgandek borishi uchun havoga ishqalanish kuchlari bo`lmasligi, shar tamoman elastik bo`lishi kerak. Bu shartlarning hammasi qaytar protsessning hatto biz ko`rayotgan mexanikaviy misolda ham qandaydir ideallashtirish ekanini ko`rsatadi, chunki aslida, tamoman elastik jismlar mavjud emas, ishqalanish kuchlarini butunlay yo`qotish mumkin emas va hokazo. Biroq mexanikaviy harakatlar, juda bo`limganda prinsip jihatidan, qaytar protsesslardir.

Yuqorida keltirilgan shartlarni qanoatlanirmaydigan protsesslar *qaytmas protsesslar* deb ataladi.

Qaytmas protsesslarga gazning tashqi kuchlar bilan muvozanatlashmagan bo`shliqqa keigayishi ham misol bo`la oladi. Barcha ko`chish hodisalari — issiqlik o`tkazuvchanlik, diffuziya va ichki ishqalanish ham qaytmas protsessdir.

### **Kvazistatik protsesslar**

*Butun protsess davomida sistema muvozanat holatida qoladigan protsesslar kvazistatik protsesslar deb atalishini eslatib o`tamiz.* Bunday protsesslarda barcha oraliq holatlar muvozanat holatlari bo`lgani uchun ularning qaytar protsess bo`lishi tushunarli. YUqorida keltirilgan prujinani cho`zish va siqish yoki gazni kengaytirish va siqish misollarida relaksatsiya vaqt — tovush-ning tarqalish vaqtidir, chunki tovush to`lqinlari jismda tarqalayotgan kengayishlar va siqilishlardir.

Masalan, gazni porshen' yordamida kengaytirish yoki siqish kvazistatik bo`lishi uchun porshenning tezligi gazda tovushning tarqalish tezligidan ancha kichik bo`lishi kerak, chunki shu shartdagina bosim gazning butun hajmi bo`ylab tenglashishga ulguradi. Bu holda gazning kengayish ishi maksimal bo`lishini ko`rgan edik (105-betga q.).

Kvazistatik protsesslarning bosimning hajmga bog`liqligini ifodalovchi egri chiziq sifatida, yoki masalan, bosimning temperaturaga bog`lanish egri chizig`i tarzida tasvirlanishi mumkin ekanini yana bir bor eslatib o`tamiz. Qaytmas protsess esa bunday egri chiziq tarzida ifodalanishi mumkin emas. Ma`lumki, agar protsess muvozanatsiz (nokvazistatik) bo`lsa, hajmning berilgan qiymatiga mos keluvchi aniq bosim yoki aniq temperatura haqida gapirish mumkni emas. Tabiiy ro`y beradigan barcha protsesslar, masalan, issiqliq jismdan sovuqroq jismga

issiqlikning uzatilishi, gaz aralashmalarida kontsen-tratsiyalarning tenglashishi va hokazolar hamma vaqt qaytmas va albatta, nokvazistatik protsesslardir.

### **Issiqlikning ishga aylanishi**

Mexanikaviy energiya issiqlikka aylanishida bu protsess juda sodda tarzda ro`y beradi: mexanikaviy energiyaning hammasi issiqlikka aylanadi va bunday aylanishda qancha kaloriya hosil bo`lishini bilish uchun joullar sonini 0,239 ga ko`paytirish kifoya (mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti). Bunda foydalanish koeffitsienti hamma vaqt birga teng.

Bu paragrafda bayon qilingan Karno sikli bo`yicha ishlovchi issiqlik mashinasini mumkin bo`lgan issiqlik mashinalari ichida eng yaxshisi deb ta`riflagan va boshqa hech qanday mashina shu temperatura sharoitlarida bundan katta ish miqdori berishi mumkin emas degan edik. SHunga qaramasdan, hatto ana shu eng yaxshi mashinaning foydali ish koeffitsienti hamma vaqt birdan kichik va ko`p hollarda u ajablanarli darajada kichik bo`ladi. Agar, masalan, sovitkichning  $T_0$  temperaturasi 373 K (suvning qaynash temperaturasi) ga, sovitkichning temperaturasi  $T_1 = 293$  K (xona temperaturasi) ga teng bo`lsa, u holda Karno ideal mashinasining foydali ish koeffitsienti

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_0}$$

bor-yo`g`i 22% ga teng bo`ladi. Real mashinalarda, masalan, parovozlarga o`rnataladigan mashinalarda bu koeffitsientning qiymati kam hollarda 10% dan ortar edi.

SHunday qilib, issiqlik hisobiga uzluksiz (siklik) ish hosil qilish imkoniyatlari shu ma`noda cheklanganki, manbadan olingan issiqlik batamom ishga aylantirishi mumkin emas. Issiqlik hisobiga ish hosil qilish, umuman aytganda, sovitkichga beriladigan foydasiz yo`qotiladigan issiqlik tarzida juda qimmatga tushadi.

Bunday cheklanishlar xuddi termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni tomonidan qo`yilishiga oson ishonch hosil qilish mumkin.

Ideal gaz solingan idish berilgan deb faraz qilaylik. Dastlab termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni ta`sir qilmaydi deb olaylik. Demak, gaz molekulalari idishning butun hajmi bo`ylab tarqalishi ham mumkin va idishning qandaydir kichik qismida to`planishi ham mumkin (mexanika qonunlari ham, termodinamikaning birinchi bosh qonuni ham bunga to`sinqinlik qilmaydi).

Gazning idish hajmining bir qismini egallagan va shunday qilib siqilgan paytini topib, bu qismni idishning boshqa qismidan porshen ko`rinishidagi to`siq bilan ajratishimiz mumkin. So`ngra gazning kengayishiga imkon berib, uni porshenni surish bo`yicha ish bajarishiga majbur qilishimiz mumkin. Bunda gaz sovimasligi uchun, biz uni muhit bilan issiqlik jihatidan kontaktda bo`lib turishini ta`minlaymiz, u tashqi muhitdan issiqlik olib turadi (demak, kengayish izotermik bo`ladi).

Gaz birinchi marta ish bajarib bo`lgandan keyin, uning yana qaytadan idishning bir qismiga to`planishini kutish mumkin (biz faraz qilganimizdek termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni ta`sir qilmasa, biz bunday bo`lishini kutishga haqlimiz) va to`plangandan keyin, uning yana kengayishiga va ish bajari-shiga imkon berish mumkin. Bunday sikllarni xohlagancha takrorlash mumkin.

Demak, bu prinsip asosida siklik ishlaydigan mashina yasash mumkin, bunday mashina ishlashining yagona natijasi issiqlik rezervuarining sovishi hisobiga ish hosil qilish (bajarish) bo`lar edi, ya`ni mashina mohiyati jihatidan «abadiy dvigatel» bo`lar edi. Biroq bu dvigatel energiyaning saqlanish qonuniga zid kelmaydi. CHunki bu yerda ish «hech narsa»dan paydo bo`layotgani yo`q, balki gazning atrof muhitdan olgan issiqligi hisobiga bajarilyapti. Atmosferada, dengiz va okeanlarning suvlarida, Er qobig`ida energiya zapaslarini benihoya bo`lgani uchun bunday mashina amalda abadiy dvigateldan farq qilmagan bo`lar edi.

Bayon qilingan bunday gipotetik mashinani, ya`ni ishlashi faqat uning olgan issiqligi hisobiga mexanikaviy ish bajarishdan iborat bo`lgan mashinani energiyaning saqlanish qonuni buzilib sarf qilingan energiyadan ko`p miqdorda ish bajaruvchi birinchi tur abadiy dvigatellaridan farqli ravishda, ikkinchi tur abadiy dvigatel' deb ataladi. Ideal gazning izotermik kengayish protsessida  $dA = dQ$  bo`lgani uchun bunday mashinaning foydali ish koeffitsienti birga teng bo`lar edi.

Biroq haqiqatda bunday mashina ishlashi mumkin emas, chunki bizning gaz molekulalari o`z-o`zidan idish hajmining bir qismiga to`planadi deb kutishimiz bekor: molekulalarning bunday o`z-o`zidan kontsentratsiyalanishida entropiyaning kamayishi ro`y beradi va shuning uchun bunday o`z-o`zidan kontsentratsiyalanish mumkin emas. Bu yerda gap hamma vaqt issiqlikni ishga aylanish protsessini takrorlovchi *siklik* mashinaning bo`lishi mumkin emasligi to`g`risida borayotganini qayd qilish kerak. Bu shuning uchun muhimki, issiqlikning ishga aylanishidan iborat protsess bir martagina bo`lishi mumkin—u termodinamika-ning birinchi bosh qonuniga ham, ikkinchi qonuniga ham zid bo`lmaydi.

Ba`zan termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini ham, xuddi uning birinchi qonunini birinchi tur abadiy dvigatel' bo`lishi mumkin emas deb ta`riflangani singari, ikkinchi tur abadiy dvigateli bo`lishi mumkin emas deb ta`riflanadi. Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni siklik issiqlik mashinasi *ishlashi uchun* nima talab qilinadi, degan savolga ham javob beradi.

Biz ishchi jism yordamida manbadan (isitkichdan) issiqlikni osongina olib, bu issiqlikni ishga aylantira olmaymiz, chunki bunday protsess isitkich entropiyasining kamayishiga olib keladi (ishchi jism aylanma protsessni bajargani uchun uning entropiyasi o`zgarishsiz qoladi). Binobarin, bizning sistemamiz—isitkich va ishchi jismdan iborat ikki jismdan emas, balki uch jismdan iborat bo`lishi kerak, shu bilan birga uchinchi jismning vazifasi, issiqlik olishimiz natijasida isitkichning entropiyasi qanchaga kamaygan bo`lsa, entropiyani (o`z entropiyasini) loaql shunday kattalikka orttirish bo`ladi  $\left( dS = \frac{dQ}{T} \right)$ . Uchinchi jismning entropiyasi ortishi

uchun unga isitkichdan olingan issiqlikning bir qismini berish kerak. Bu uchinchi jism—sovitkichdir. Uning temperaturasi past bo`lgani uchun unga isitkichdan olingan issiqlikdan kamroq issiqlik berish mumkin, bunda bu issiqlikning bir qismini ishga aylantirish mumkin bo`ladi. Bu sharoitlarda «isitkich — ishchi jism — sovitkich» sistemasining entropiyasi o`zgarishsiz qoladi, bunday protsess termodinamikaning ikkinchi bosh qonuniga ko`ra mumkin, chunki bu qonun faqat entropiya kamayadigan protsesslargagina yo`l qo`ymaydi.

Bundan siklik ishlaydigan mashina yordamida ishchi jismning isitkichdan olgan barcha issiqligini ishga aylantirish prinsip jihatidan mumkin emasligi kelib chiqadi. Issiqlikning bir qismidan biz albatta sovitkichga berishimiz kerak. Ana shu berilgan issiqlik olgan issiqligimizning ishga aylangan qismi uchun to`lagan haqimiz bo`ladi.

Biz bu yerda isitkichning entropiyasi qanchaga kamaygan bo`lsa, sovitkichga uning entropiyasini xuddi shunchaga oshiruvchi issiqlik miqdori berilgan holni ko`rdik. SHu narsa ravshanki, bu issiqlik miqdori mashinaning umuman ishlashi uchun zarur bo`lgan minimal issiqlik miqdoridir. Bunda entropiya o`zgarmas bo`ladi, ishga esa isitkichdan olingan issiqlik miqdorining maksimal miqdori aylanadi, demak, mashinaning foydali ish koeffitsienti maksimal bo`ladi. entropiyaning o`zgarmasligi qaytuvchan protsessga muvofiq kelishini biz bilamiz. Ana shuning uchun ham foydali ish koeffitsienti maksimal bo`lgan ideal mashina qaytuvchan bo`lishi kerak. SHuning uchun Karno siklini bayon qilishda sikl bajarilayotganda issiqlik o`tkazuvchanlikning qaytmas protsesslari bo`lmaydi, kengaytirish va siqish esa qaytuvchan yo`l bilan amalgalashiriladi deb ta`kidlagan edik.

Aslida real mashinada siklning barcha bosqichlarida tamoman qaytar protsesslar bo`lishini ta`minlab bo`lmaydi. SHuning uchun entropiya o`zgarmas bo`lolmaydi, ortib boradi. Bu o`z navbatida shuni bildiradiki, real mashinada sovitkichga beriladigan issiqlik miqdori  $\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1}$  tenglik bilan aniqlanadi- gan issiqlik miqdoridan ko`proq bo`ladi.

Binobarin, bu holda isitkichdan olingan issiqlik miqdorining ishga aylantirilmay qoladigan qismi qaytuvchan mashinadagidan ko`proq bo`lib qoladi, ya`ni mashinaning foydali ish koeffitsienti Karno qaytuvchan sikli uchun hisoblangan foydali ish koeffitsientidan kam bo`ladi.

Entropiyaning ortishi, umuman, issiqlikning *mexanikaviy ishga aylantirishning qiyinroq bo`lib borayotganini bildiradi*. Buni quyidagi hisobdan ko`rish oson.

Temperaturasi  $T_1$  bo`lgan va ishchi jismga  $Q$  issiqlik miqdori berayotgan issiqlik manbaini ko`z oldimizga keltiraylik. Agar sovitkichning temperaturasi  $T_o$  bo`lsa, u holda sovitkichga berilayotgan  $Q_0$  issiqlik miqdori  $\frac{Q}{T_1} = \frac{Q_0}{T_0}$  tenglikdan aniqlanadi, bundan

$$Q_0 = Q \frac{T_0}{T_1}.$$

Bu holda ishga aylanishi mumkin bo`lgan issiqlik miqdori quyidagiga teng bo`ladi:

$$Q - Q_0 = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right).$$

Agar  $T_2$  temperaturali boshqa isitkich olib, undan ham xuddi shunday  $Q'$  issiqlik miqdori olinsa, u holda sovitkichga (avvalgi  $T_o$  temperaturali)  $\frac{Q}{T_2} = \frac{Q'_0}{T_0}$  tenglik bilan aniqlanadigan boshqa  $Q'_0$  issiqlik miqdori berishga to`g`ri keladi, bundan

$$Q'_0 = Q \frac{T_0}{T_2},$$

bu holda ishga aylanadigan issiqlik miqdori quyidagiga teng bo`ladi:

$$Q - Q'_0 = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_2} \right).$$

Bundan shu narsa kelib chiqadi: agar  $Q$  issiqlik miqdori  $T_1$  temperaturali jismdan  $T_2$  temperaturali jismga o`tsa, u holda issiqliknинг «ish bajara olish qobiliyati» (ya`ni issiqliknинг ishga aylanishi mumkin bo`lgan qismi) quyidagi kattalikka o`zgaradi:

$$Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_2} \right) - Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right) = Q \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) T_0. \quad (98)$$

Binobarin, issiqliknинг bir jismdan ikkinchi jismga o`tganida «ish bajara olish qibiliyatining» o`zgarishi bunday o`tishda *entropiya o`zgarishi* bilan aniqlanar ekan. (98) formuladan ko`rinib turibdiki, entropianing *ortishi* issiqliknинг ishga aylantirish imkonini *kamaytirar* ekan. entropianing ortishi go`yo issiqlik energiyasining qiymati pasayishiga, uning hisobiga ish bajarish imkoniyatining kamayishiga olib keladi. Bu nuqtai nazardan termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini shunday ta`riflash mumkin: har qanday berk sistemada har qanday (qaytmas) protsess shunday amalga oshadiki, bunda ishga aylanishi mumkin bo`lgan energiya miqdori kamayib, muvozanat holatida nolga intiladi.

SHuning uchun biz avvalroq kiritgan erkin energiya, ya`ni energiyaning izotermik protsess ( $dT = 0$ ) da mexanikaviy ishga aylanishi mumkin bo`lgan qismi ham entropiya bilan bog`langandir.

Energiyaning saqlanish qonuni tenglamasini yozamiz:

$$dQ = dU + dA.$$

$dS = \frac{dQ}{T}$  bo`lgani uchun  $dQ = TdS$  va bizning tenglamamiz shunday ko`rinishga keladi:

$$dU = TdS - dA \quad (99)$$

(99) tenglikdan shu narsa kelib chiqadi:]

$$-dA = dU - TdS = d(U - TS) \text{ yoki } dA = -d(U - TS)$$

(chunki  $T = \text{const}$  bo`lgani uchun  $SdT = 0$ ).

Oxirgi tenglama izotermik protsessdagi  $dA$  ish qandaydir  $U - TS$  funksiyaning o`zgarishiga teng ekanini ko`rsatadi. Bu funksiya sistemaning erkin energiyasi  $F$  ekanligi ravshan:

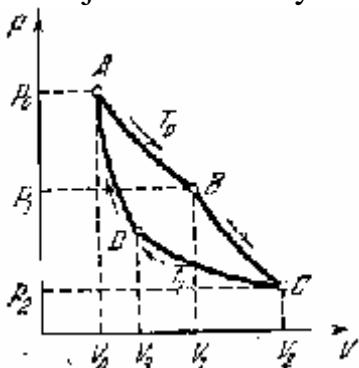
$$F = U - TS.$$

Erkin energiya, ya`ni mexanikaviy ish bajarishi mumkin bo`lgan energiya, demak,  $U$  ichki energiyadan  $TS$  kattalikni olinganiga teng ekan. SHu narsa ham ravshanki,  $TS$  energiyaning ishga aylanishi mumkin bo`lmagan qismini bildiradi va entropiya qancha katta bo`l-sa, energiyaning bu qismi ham shuncha katta bo`ladi. SHuning uchun  $TS$  kattalikni ba`zida bog`langan energiya deb ataladi.

(98) tenglamaning o`ng qismida turgan kattalik bog`langan energiyaning  $T_0 \Delta S$  o`zgarishidir. Bu o`zgarish issiqlik energiyasi «ish bajara olish qobiliyati» ning o`zgarshiga teng.

### Siklik jarayon va Karko sikli

Endi shunday aylanma protsessni ko`raylikki, uning yordamida biror jismdan olingan issiqliknini ishga aylantirish va shu bilan birga eng foydali tarzda ishga aylantirish mumkin bo`lsin, ya`ni olingan ish maksimal mumkin bo`lgan ish bo`lsin. Bunday protsessni amalga oshirish uchun bilamizki, uchta jism: issiqlik olinayotgan issiqlik manbai (isitkich), issiqlik beriladigan sovuqroq jism (sovitkich) va issiqliknинг berilishi va ishning bajarilishida vositachi bo`lgan ishchi jism bo`lishi kerak. Mulo hazalarimizning sodda bo`lishi uchun yana isitkich va sovitkichning issiqlik sig`imlari shuncha kattaki, birinchisidan issiqlik miqdori olib ikkinchisiga berishdan ularning temperaturalari o`zgarmaydi deb faraz qilaylik. Bunday sharoitlarda ishchi jismning isitkich bergan issiqlik hisobiga haqiqatda qanday qilib ish bajarishini ko`raylik.



7-rasm.

Ishchi jismda amalga oshadigan aylanma protsessni bu jismning biror bosimgacha sifilib, isitkich bilan kontaktida bo`lgan paytidan, ya`ni demak, uning  $T_0$  ga teng temperaturaga ega bo`lgan paytidan boshlaymiz (7-rasmdagi A nuqta). Temperaturalar farqi bo`lmagani uchun bunda issiqlik o`tkazuvchanlik protsessi bo`lmaydi. Binobarin, ish bajarilmasdan issiqlik berish protesssi ham bo`lmaydi. Bizning maqsadimiz maksimal ish olish bo`lgani uchun siklda bunday protsesslar bo`lishiga yo`l qo`ymasligimiz kerak.

Endi ishchi jismga isitkich bilan kontaktini uzmagani holda kengayishi va biror jismni, masalan porshenni, siljitiishi uchun imkon beramiz. Demak, kengayish izotermik kengayish bo`ladi (7-rasmdagi AV egri chiziq).

Bunda ish bajariladi. Bu ish isitkichdan olingan issiqlik hisobiga bajariladi, biroq isitkichning issiqlik sig`imi katta bo`lgani uchun u o`z temperurasini o`zgartirmaydi.

Ishchi jismning biz bayon qilgan sikli birinchi marta shunday siklni o`rgangan frantsuz olimining nomi bilan *Karko sikli* deb ataladi.

SHuning uchun ishchi jism ideal gaz bo`lgan hol uchun butun Karko siklini miqdoriy jihatdan ko`rib chiqaylik (7-rasmga q.).

Ishchi jism 1 mol ideal gaz bo`lsin va boshlang`ich holati  $p_0$  bosim va  $V_0$  hajm bilan, ya`ni 7-rasmdagi A nuqta bilan xarakterlansin. Gazning temperurasasi  $T_0 = p_0 V_0 / R$  shartimizga muvofiq isitkich temperurasiga teng. Sovitkichning temperurasini  $T$  bilan belgilaymiz. Binobarin,  $T_0 > T_1$ .

Boshlang`ich holatda ishchi jismni isitkichga tegiziladi (kontakt-lashtiriladi). Gazning amalga oshiradigan aylanma protsessining birinchi bosqichi — uning  $V_1$  hajmgacha izotermik kengayishidir (isitkich bilan kontakt saqlanadi). SHunga

muvofiq ravishda bosim izoterma bo`ylab  $p_1$  qiymatgacha kamayadi (93- rasmdagi  $V$  nuqta).

Gazning kengayishda bajargan musbat ishi

$$A_1 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = Q_0 \quad (76)$$

ga teng bo`ladi, bu yerda  $Q_0$  — gazning isitkichdan olgan issiqlik miqdori. SHu issiqlik hisobiga  $A_1$  ish bajarilgan.

Ikkinci bosqich shundan iboratki, gaz isitkichdan izolyatsiya qilinadi va uning kelgusi kengayishi adiabatik amalga oshadi, buning natijasida gaz soviydi. Gazning temperaturasasi sovitkichning  $T_1$  temperaturasiga teng bo`lganida bunday adiabatik kengayish to`xtatiladi. Gazning kengayishi kerak bo`lgan hajmning qiymatini adiabatik kengayishda quyidagi

$$T_0 V_1^{\gamma-1} = T_1 V_2^{\gamma-1} \quad (77)$$

tenglik o`rinli ekanligini nazarda tutib topish mumkin.  $V_2$  hajmni, demak, quyidagi

$$\left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1} \quad (78)$$

tenglikdan topish mumkin. Bunda bosim adiabata bo`ylab  $p_2$  qiymatgacha o`zgaradi (7-rasmdagi  $S$  nuqta). Protsessning bu ikkinchi bosqichida gazning bajargan ishi quyidagiga teng bo`ladi (125-betga q.):

$$A_2 = \frac{RT_0}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1}. \quad (79)$$

Siklik protsessniig uchinchi bosqichida gaz sovitkichning temperaturasida tashqi kuchlar tomonidan  $V_2$  dan  $V_3$  hajmgacha izotermik siqiladi. Bunda *gaz ustida* bajarilgan ish quyidagiga teng bo`ladi:

$$A_3 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} = Q_1 \quad (80)$$

Bu ish hisobiga  $Q_1$  issiqlik ajralib chiqadi va gaz kontaktida bo`lgan sovitkichga beriladi.

Nihoyat, gaz boshlang`ich holatiga qaytishi uchun duch keladigan oxirgi o`zgarishi — uning boshlang`ich  $V_0$  hajm va  $p_0$  bosimgacha adiabatik siqilishidir, bu hajm va bosimda uning temperaturasasi  $T_0$  ga teng bo`ladi. Buning uchun gaz bundan avvalgi, uchinchi bosqichda  $V_3$  hajmgacha siqilgan bo`lishi kerak, bu hajm quyidagi

$$\left( \frac{V_3}{V_0} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1} \quad (81)$$

tenglikdan aniqlanadi, chunki avvalgidek  $T_1 V_3^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1}$ .

Siklning oxirgi bosqichida siqish ishi

$$A_4 = \frac{R(T_1 - T_0)}{\gamma-1} = -\frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} \quad (82)$$

ga teng bo`ladi.

Endi gaz qaytadan boshlang`ich holatda bo`ladi, Karno sikli tugaydi va gaz protsessni qaytadan boshlashga «tayyor».

Siklning natijasi nima bo`ldiq Uning issiqlikning mexanikaviy ishga aylantirishdan iborat maqsadi qay darajada bajarildiq

Gazning bajargan va gaz ustida bajarilgan umumiy ish  $A$  ning

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

bo`lishi o`z-o`zidan ravshan. (76), (79), (80) va (82) tengliklardan quyidagisi olamiz:

$$A = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} + \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} - \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} = = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3}.$$

(78) va (81) tengliklardan  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_0}$  yoki  $\frac{V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_3}$  ekanligi kelib chiqadi. Bu munosabatni  $r$  orqali belgilaymiz. U holda

$$\ln \frac{V_1}{V_0} = \ln \frac{V_2}{V_3} = \ln r. \quad (83)$$

$V_1 > V_0$  va  $V_2 > V_3$  bo`lgani uchun  $\ln r > 0$ .

Binobarin, umumiy ish

$$A = R(T_0 - T_1) \ln r \quad (84)$$

va  $T_0 > T_1$  bo`lgani uchun  $A > 0$ . Binobarin, gazning kengayishda bajargan ishi tashqi kuchlarning gazni siqish uchun sarflagan ishidan katta. SHunday qilib, ishchi jismning isitkichdan olgan issiqligi hisobiga qandaydir foydali ish bajarilgan. Biroq bu ish ishchi jismning isitkichdan olgan  $Q_0$  issiqlik miqdoriga teng emas.

Isitkichning bergen

$$Q_0 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0}$$

issiqlik miqdoridan

$$Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2}$$

ga teng bo`lgan bir qismi gazning  $V_2$  hajmdan  $V_3$  hajmgacha izotermik siqishda sovitkichga berilgan edi (gaz bu vaqtda sovitkich bilan kontaktda edi). SHunday qilib, olingan issiqlikning

$$Q_0 - Q_1 = R(T_0 - T_1) \ln r = A \quad (85)$$

ga teng bo`lgan qisminigina foydali ishga aylantirishga muvaffaq bo`lindi.  $A$  ish grafik ravishda AVSDA egri chiziq bilan chegaralangan yuz bilan aniqlanadi (93-rasmga q.).

Bu bilan issiqliknii ishga aylantirish protsessi teskari protsess—ishni issiqlikka aylantirish protsessidan farq qiladi. Mexanikaviy ish ma`lum sharoitlarda batamom issiqlikka aylantirilishi mumkin. Issiqlik esa faqat qisman ishga aylanadi.

SHu narsani qayd qilib o`tish kerakki, (76), (80) va (83) tengliklardan kelgusida biz uchun kerak bo`ladigan juda muhim munosabat kelib chiqadi. (76) va (80) tengliklarni shunday ko`rinishda yozish mumkin:

$$\frac{Q_0}{T_0} = R \ln \frac{V_1}{V_0}, \quad -\frac{Q_1}{T_1} = R \ln \frac{V_2}{V_3}.$$

Bu tengliklarni qo'shib va (83) tenglikni nazarga olib, shunday yozish mumkin:  $\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$ , bundan

$$\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1}. \quad (86)$$

**Karno siklida foydali ish koeffitsienti.** Karno aylanma siklining biz yuqorida keltirgan analizidan shu narsa kelib chiqadiki, bu protsess vositasida isitkichdan olingan issiqlikni batamom mexanikaviy energiyaga aylantirib bo`lmas ekan. Bu issiqlikning bir qismi sovitkichga — isitkich temperaturasidan pastroq temperaturali jismga berilishi shart.

Agar ishchi jismning isitkichdan olgan issiqlik miqdori  $Q_0$  ga teng bo`lsa va bu issiqlikning ishga aylantirilgan qismi  $Q_0 - Q_1$  ga teng bo`lsa, u holda

$$\eta = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}$$

munosabat aylanma protsessning foydali ish koeffitsientini (aniqrog`i, ana shunday protsess bo`yicha ishlaydigan mashinaning) foydali ish koeffitsientini bildiradi. (86) formuladan ko`rinib turganidek, Karno siklining foydali ish koeffitsienti  $\eta$  quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0}. \quad (87)$$

Foydali ish koeffitsienti (f. i. k.), binobarin, hamma vaqt birdan kichik va isitkich hamda sovitkich temperaturalari orasidagi munosabatga bog`liq bo`ladi.

Biz ko`rgan Karno sikli o`zining barcha bosqichlarida shunday o`tkazildiki, hech qayerda turli temperaturali jismlar bir-biriga tekkani yo`q, bu narsa issiqlik o`tkazuvchanlikka doir qaytmas protsesslarning bo`lishiga yo`l qo`ymaydi. Ishchi jism hajmining o`zgarishlari ham qaytuvchanlik yo`li bilan amalga oshirildi, buning esa maksimum ish bajarilishini ta`minlashini bilamiz. Demak, issiqlik znergyyasidan foydalanish uchun eng yaxshi sharoit vujudga keltirildi. SHuning uchun (87) formulada keltirilganidan yuqoriroq foydali ish koeffitsientiga erishish prinsip jihatdan mumkin emas.

*Isitkich va sovitkichning berilgan temperaturalar qiymatlarida ishlaydigan issiqlik mashinasi isitkich va sovitkichning shu temperatura qiymatlarida Karno qaytuvchi sikli bo`yicha ishlaydigan mashina foydali ish koeffitsientidan yuqori foydali ish koeffitsientiga ega bo`lishi mumkin emas. (Bu ta`rif ba`zan Karnoning birinchi teoremasi deb yuritiladi.)*

(87) formuladan ko`rinib turibdiki, *Karno siklining foydali ish koeffitsienti ishchi jismning turiga bog`liq bo`lmaydi*, faqat isitkich va sovitkichning temperaturalariga bog`liq bo`ladi (bu ta`rif Karnoning ikkinchi teoremasi mazmunini tashkil qiladi).

Hisoblashda ishchi jism sifatida ideal gaz olganimizning birdan-bir sababi shuki, uning uchun holat tenglamasi aniq ma`lum va bu bizga foydali ish koeffitsientini oson hisoblashga imkon berdi.

Karno sikli bo`yicha ishlayotgan mashina foydali ish koeffitsientining maksimal bo`lishiga sabab (biz buni ko`rdik va quyida yana bat afsil ko`ramiz), bu aylanma protsessning to`la ravishda qaytuvchan bo`lishidir. Quyida Karnoning har ikkala teoremasining umumiylisbotlari keltiriladi.

**Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar deganda nimani tushunasiz?
2. Termodinamikaning birinchi bosh qonunini izohlang?
3. Siklik jarayon deganda nimani tushunasiz?
4. Karno siklini tushuntiring.
5. Issiqlikni ishga aylanishi jarayonini tushuntiring?

## **27-Mavzu: Entropiya. Qaytar va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi. Klauzius tengsizligi. Termodinamikaning II qonuni.**

### **Reja:**

1. Entropiya.
2. Qaytar va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi.
3. Klauzius tengsizligi.
4. Termodinamikaning II qonuni.

**Tayanch so'z va iboralar:Siklik jarayon, Karno sikli, Entropiya, Klauzius tengsizligi, termodinamika.**

*Bu mavzuda talabalarga termodinamik jarayonlar, Karno sikli va teoremasi, shuningdek erkin energiya to'g'risida tushuncha va ma'lumotlar beriladi.*

***Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:***

- 1) Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
- 2) Tabiatda ro'y beradigan jarayonlar qanday termodinamik jarayonga kiradi?
- 3) Karno siklini tushuntirib bering.
- 4) Karno teoremasining mazmuni nimadan iborat?
- 5) Erkin energiya deganda nimani tushunasiz?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [6].

### **Erkin energiya**

Karno siklida ishchi jism siklning birinchi yarmida — dastlab izotermik, so`ngra esa adiabatik kengayish protsesslaridagina ish bajaradi.

Adiabatik protsessda ish, ma'lumki, ichki energiya hisobiga bajariladi va bu ish ichki energiyaning kamayishiga teng:

$$dA = -dU.$$

Izotermik protsessda ish boshqacha bo'ladi. Bunday protsessda jismning temperaturasi o'zgarmaydi va shuning uchun ichki energiyaning molekulyar harakatlar kinetik energiyasi bilan bog`langan bir qismini mexanikaviy energiyaga aylantirish uchun foydalanib bo`lmaydi. SHu sababli biz jismning yoki jismlar sistemasining umumiyligi energiyasi bilan bu umumiyligi energiyaning ayni sharoitlarda ish bajarish uchun foydalanish mumkin bo`lgan qismidan ajratishimiz kerak bo`ladi.

*Qaytuvchan izotermik* kengayish va siqilish protsesslari amalga oshishi mumkin bo`lgan biror jismni, masalan, gazni ko`z oldimizga keltiraylik. Buning uchun gazni termostatga joylashtirish kerak (28-§ ga q.), ya`ni uni temperaturasi o'zgarmas bo`lgan katta issiqlik sig`imiga ega bo`lgan jism bilan kontaktga keltirishimiz kerak. Gaz kengayib, mexanikaviy ish bajarishi mumkin, binobarin, termostat va gazdan iborat bizning sistema biror energiyaga ega. Sistemaning berilgan sharoitlarda mexanikaviy ishga aylantirish uchun foydalaniladigan qismi *erkin energiya* deb ataladi.

SHunday qilib, sistemaning *erkin energiyasi* sistemaning (masalan, ideal gazning) o`z holatini ayni vaqtida o`zi turgan holatdan biz boshlang`ich holat deb tanlagan, ya`ni *erkin energiya* nolga teng deb qabul qilingan holatgacha (ya`ni hisob boshi) izotermik va qaytuvchan o`zgartirishida bajargan ishi bilan o`lchanadi.

Agar sistemaning erkin energiyasini  $G$  bilan belgilasak, u holda sistemaning qaytuvchan izotermik protsessda bajargan cheksiz kichik  $dA$  ishi quyidagi teng bo`ladi:

$$dA = -dF \quad (88)$$

Agar, masalan, sistema holatining o`zgarishi jismning izotermik kengayishidan (uning hajmining ortishidan) iborat bo`lsa, ya`ni bajarilgan ish musbat bo`lsa, u holda minus ishora erkin energiyaning kamayishini bildiradi., Aksincha, jismni siqishda (ish manfiy) erkin energiya jismni (gazni) siqayotgan tashqi kuchlar hisobiga ortadi. Xususan, ideal gaz uchun uni  $V_1$  hajmdan  $V_2$  hajmgacha izotermik kengayishda bajarilgan ish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi (bir mol gaz uchun):

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (89)$$

(89) ning o`ng qismi bunday kengayishda 1 mol gazning erkin energiyasining kamayishini bildiradi. Demak, berilgan temperaturada berilgan massali gazning egallagan hajmi qancha kam, ya`ni gaz qancha ko`p siqilgan bo`lsa, uning erkin energiyasi shuncha ko`p bo`ladi.

Ideal gazning *ichki energiyasi* uning egallagan hajmiga *bog`liq emasligini eslatib o`tamiz*; ballondagi siqilgan bir mol gazning ichki energiyasi xuddi shu temperaturadagi siqilmagan gazning ichki energiyasiga teng bo`ladi. Biroq siqilgan gazning *erkin energiyasi* katta bo`lishiga sabab shuki, u izotermik ken-gayishda katta ish bajarishi mumkin.

Agar hajmning izotermik o`zgarish protsessi qaytmas bo`lib amalga oshsa, u holda bajariladigan ish qaytuvchan protsessdagidan kichik bo`ladi. bunda erkin energiyaning o`zgarishi bajarilgan ishdan katta bo`ladi hamda bunda (88) formulani quyidagi ko`rinishda yozish kerak bo`ladi:

$$dA \leq dF.$$

Tengsizlik ishorasi qaytmas protsessga, tenglik ishorasi esa qaytar protsessga tegishli bo`ladi.

SHunday hollar bo`lishi ham mumkinki, bunda erkin energiyaning o`zgarishida hech qanday ish bajarilmaydi.

Xususan, agar ideal gaz bo`shliqqa kengayayotgan bo`lsa, bunda hech qanday ish bajarilmaydi. Gazning temperaturasi, binobarin, ichki energiyasi ham o`zgarishsiz qoladi. Holbuki, gazning erkin energiyasi *kamaydi*, chunki gazning bajarishi mumkin bo`lgan ishi kamaydi. Buning sababi shuki, gazning bo`shliqqa kengayish protsessi garchi izotermik protsess bo`lsa ham, u batamom qaytmas protsessdir.

Haqiqatan ham, aytaylik, jism 1 holatdan 2 holatga turli ikki (izotermik) yo`llar bilan o`tishi mumkin va shu bilan birga, birinchi yo`l bilan o`tganda  $A_1$  va ikkinchi yo`l bilan o`tganda  $A_2$  ish bajaradi. Biroq bunday holda biz jismni 1 holatdan 2 holatga bir yo`l bo`ylab o`tkazishimiz va boshqa yo`l bilan aylanma protsess qilib orqaga qaytarishimiz mumkin. Bunda bajarilgan umumiy ish  $A_1 - A_2 = 0$ , binobarin,

$$A_1 = A_2.$$

Bundan jismning bajargan ishi jismning boshlang`ich va oxirgi holatlarigagina bog`liq ekan degan xulosa chiqadi. Demak, erkin energiya holat funksiyasi ekan.

Quyida erkin energiyaning umumiy formulasini keltiramiz.

### Entropiya

Yuqorida ko`rilgan Karko aylanma protsessiga qaytaylik va endi *ishchi jismning* bu protsessda duch kelgan holat o`zgarishlariga diqqat bilan ahamiyat beraylik.

Eslatib o`taylik, ishchi jism  $r_0$  bosim va  $T_0$  temperatura bilan xarakterlanadigan boshlang`ich  $A$  holatdan ketma-ket amalga oshiriladigan izotermik va adiabatik kengaytirishlar natijasida  $S$  holatga o`tdi, bu holatda jism sovitkich temperaturasiga ega bo`ldi. Holatning bu o`zgarishi ishchi jismga isitkich tomonidai berilgan  $Q_0$  issiqlik hisobiga amalga oshdi. Ishchi jismning  $S$  holatdan boshlang`ich  $A$  holatga teskari o`tishi jismni ketma-ket ikkita izotermik va adiabatik siqishlar orqali amalga oshirildi. Boshlang`ich holatga bunday qaytishda ajralgan issiqlik miqdori  $Q_1$  ga teng, shu bilan birga  $Q_1 < Q_0$  ekanligini ko`rgan edik. SHunday qilib, ayni bir jismning  $A$  holatdan  $S$  holatga o`tishi va  $S$  holatdan  $A$  holatga teskari o`tishida yutilgan va ajralgan issiqlik miqdorlari birday emas ekan. Buning sababi, bu ikkala o`tishning turli yo`llar bilan amalga oshirilishida bo`lishi ravshan: bir holda ( $A$  dan  $S$  ga) kengayish protsessi boshqa holdagi ( $S$  dan  $A$  ga o`tishdagi) siqish protsesslaridan yuqoriq bosimda amalga oshdi. Ravshanki, agar biz  $S$  dan  $A$  ga o`tishni ham xuddi to`g`ri o`tishdagi yo`l bilan, ya`ni *SDA egri chizig`i* bo`ylab emas, *SVA egri chizig`i* bo`ylab amalga oshiranimizda edi (7-rasmga q.), u holda to`g`ri o`tishdagi sarflangan issiqlik miqdori teskari o`tishdagi ajralgan issiqlik miqdoriga aniq teng bo`lar edi.

Boshqacha aytganda, issiqlik miqdori  $Q$  jismning, masalan,  $U$  ichki energiyasi (yoki  $G$  erkin energiyasi) singari holat funksiyasi bo`lmaydi. SHunday ekanligi, termodinamikaning birinchi bosh qonuni tenglamasi

$$dQ = dU + dA$$

dan ham kelib chiqadi, chunki jismning bajargan (yoki jism ustida bajarilgan)  $dA$  ish uning qanday yo`l bilan bajarilganiga bog`liq bo`ladi, holbuki ichki energiyaning o`zgarishi holatning qanday yo`l bilan o`zgarishiga bog`liq bo`lmaydi.

Biroq agar  $T_0$  temperaturada isitkichdan olingan  $Q_0$  issiqlik miqdori va  $T_1$  temperaturada uning sovitkichga bergen issiqlik miqdori  $Q_1$  o`zaro teng bo`lmasa, u holda biz ko`rganimizdek ((86) formulaga q.), bu issiqlik miqdorlariyushg ular yutilgan yoki ajratib chiqarilgan temperaturalarga nis-batlari son jihatidan bir-biriga teng bo`ladi (biroq ishoralari qarama-qarshi bo`ladi):

$$\left| \frac{Q_0}{T_0} \right| = \left| \frac{Q_1}{T_1} \right|.$$

$\frac{Q_1}{T_1}$  nisbatni ba`zida, Lorents ataganidek, keltirilgan issiqlik deb yuritiladi,

binobarin, oxirgi tenglama ishchi jismning aylanma protsessda olgan va bergen keltirilgan issiqliklarining tengligini bildiradi.

Issiqlikning bu xususiyati alohida termodinamik kattalik — *entropiyani* kiritishga imkon beradi, bu kattalik fizikada fundamental ahamiyatga ega. Bu kattalikning muhimligi shundaki, u holat funksiyasidir va tabiatdagi barcha protsesslarda,

jumladan, issiqlikning ishga aylanish protsessida nihoyatda katta rol' o`ynaydi<sup>1</sup>, biz buni ko`rsatamiz.

Jism yoki jismlar sistemasi holatining har qanday o`zgarishini umumiyl holda cheksiz ko`p sondagi cheksiz kichik o`zgarishlarning natijasi deb qarash mumkin. Sistema holatining har bir cheksiz kichik o`zgarishida u cheksiz kichik  $dQ$  issiqlik miqdorini yutadi yoki ajratib chiqaradi (agar protsess adiabatik bo`lmasa). Sistema issiqlik yutganda  $dQ$  ni musbat deb, issiqlik ajratib chiqarganda esa manfiy deb hisoblashga shartlashamiz.

SHuni ko`rsatish mumkinki, agar sistema qandaydir holat o`zgarishlari natijasida qaytuvchan yo`l bilan  $A$  holatdan  $V$  holatga o`tsa, u holda keltirilgan issiqlik miqdorlarining yig`indisi, ya`ni

$$\int_A^B \frac{dQ}{T}$$

kattalik  $A$  dan  $V$  ga o`tish amalga oshadigan yo`lga bog`liq bo`lmaydi. Buning uchun boshlang`ich va oxirgi holatlar ustma-ust tushadigan aylanma protsessda bu integralning nolga teng ekanini ko`rsatish kifoya:

$$\int \frac{dQ}{T} = 0.$$

Avval har qanday aylanma protsessda ham

$$\int \frac{dQ}{T} \quad (90)$$

integral musbat kattalik bo`lmasligini isbot qilamiz.

Karno siklini ko`rganimizda ko`rsatib o`tilganidek,  $T$  temperaturada  $M$  jismdan olingan  $dQ$  issiqlik miqdori va  $T_0$  temperaturada rezervuarga berilgan  $dQ'$  issiqlik miqdori bir-biriga teng emas, biroq  $\frac{dQ}{T}$  va  $\frac{dQ'}{T_0}$  nisbatlar tengdir. Bundan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$dQ' = \frac{T_0}{T} dQ. \quad (91)$$

Agar  $T_0 < T$  bo`lsa, rezervuar sovitkich rolini va  $M$  jism isitkich rolini o`ynaydi. Agar aksincha  $T_0 > T$  bo`lsa, rezervuar isitkich hamda  $M$  jism sovitkich bo`ladi.

$M$  jism aylanma protsessni tamom qilgandan so`ng jismning yo`qotgan umumiyl issiqlik miqdori (91) dan ko`rinib turganidek

$$\int T_0 \frac{dQ}{T}$$

ga teng bo`lishi kerak yoki rezervuarning issiqlik sig`imi katta bo`lgani va uning temperaturasni o`zgarishsiz qolgani uchun bu kattalik quyidagiga teng bo`ladi:

$$T_0 \int \frac{dQ}{T}.$$

---

<sup>1</sup> Entropiya so`zining o`zi grekcha *ΕΝΤΡΟΠΙΑ* — o`zgartirmoq, aylantirmoq fe'lidan kelib chiqqan va termodinamikaning asoschilaridan biri — Klauzius tomonidan taklif qilingan edi.

Jism amalga oshirayotgan protsess — aylanma protsessdir. SHuning uchun jism pirovardida o`zgarishsiz qoladi. Oraliq jism ham aylanma protsessni amalga oshirdi. Demak, unda ham hech qanday o`zgarish bo`lgani yo`q.

Agar (90) integral musbat bo`lganda edi, bundan jism tomonidan yo`qotilgan  $T_0 \int \frac{dQ}{T}$  ga teng bo`lgan issiqlik miqdori butunlay ishga aylandi degan xulosa chiqar edi, holbuki,  $M$  jism ham, oraliq jism ham o`z holatlarini o`zgartirgani yo`q. Biroq Tomson prinsipiga ko`ra bunday bo`lishi mumkin emas. Demak,  $\int \frac{dQ}{T} > 0$  deb qilgan farazimiz noto`g`ri.

(90) integral manfiy bo`lishi ham mumkin emasligini ko`rish oson. Haqiqatan ham, agar hamma holat o`zgarishlarini teskari yo`nalishda amalga oshirsak, u holda har bir issiqlik miqdori o`z ishorasini o`zgartiradi va agar to`g`ri protsessda  $\int \frac{dQ}{T} < 0$  bo`lsa, bu holda teskari protsessda bu integral musbat bo`lib qoladi, bunday bo`lishi mumkin emasligini biz hozirgina ko`rdik. Demak, bu integral manfiy bo`lishi ham mumkin emas. Biroq bu integral musbat ham, manfiy ham bo`lishi mumkin bo`lmasa, bundan chiqadiki, biz bu yerda ko`rayotgan *qaytuvchan aylanma* protsesslar uchun integral

$$\int \frac{dQ}{T} = 0 \quad (92)$$

bo`lar ekan. (Bu tenglamaning xususiy holi (82.3) tenglamadir.)

Bu o`z navbatida shuni bildiradiki, har qanday *qaytuvchan aylanma bo`lmagan* protsessda bu qiymat protsess sodir bo`ladigan *yo`lga bog`liq bo`lmas* ekan.

Bu narsa bizga shunday hukm chiqarishga imkon beradi: sistemaning *holat funksiyasi* bo`lgan qandaydir kattalik mavjud — biz uni  $S$  bilan belgilaymiz, bu kattalikning sistema  $A$  holatdan  $V$  teskari (*qaytuvchan*) o`tishida o`zgarishi  $S_B - S_A$  quyidagiga teng bo`ladi:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (93)$$

(93) tenglik funksiyaning shu holatga mos keluvchi absolyut qiymatini emas, faqat uning bir holatdan ikkinchi holatga o`tishdagi o`zgarishini bildiradi. Biroq shunga o`xhash barcha hollarda qilingani singari, biror shunday holatni tanlash mumkinki, bu holatga  $S$  ning nolga teng qiymatini berish hamda qolgan holatlarni ana shu holat bilan taqqoslash mumkin bo`lsin. SHuning uchun kelgusida xuddi shu  $S$  funksiya (90) integralga teng deb qabul qilamiz:

$$S = \int \frac{dQ}{T} \quad (94)$$

SHu (94) yo`l bilan aniqlangan  $S$  kattalik *entropiya* deb ataladi.

Amalda hamma vaqt kattalikning o`zini emas, faqat sistema holati o`zgorganida bu kattalikning o`zgarishini bilish kerak bo`ladi. SHuning uchun qanday holatga nol` entropiya tegishli deb olish farqsiz. Absolyut nol` temperaturada entropiya nolga teng deb olish qabul qilingan va buning etarli asosi bor.

Aslini olganda, qaytar protsesslar uchun termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni shundan iboratki, sistema (84.6) yoki (84.7) tenglamalar bilan aniqlanadigan holat funksiyasi — entropiya bilan xarakterlanishi mumkin. Bu funksiyaning chuqur fizikaviy ma`nosi quyida aniqlanadi.

Agar sistemada amalga oshayotgan aylanma protsess *qaytmas* bo`lsa, u holda

$$\int \frac{dQ}{T} < 0. \quad (95)$$

Bu tengsizlik *Klauzius tengsizligi* deb ataladi.

Karno qaytmas siklidan iborat xususiy hol uchun keltirilgan issiqliklar yig`indisi

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0$$

bo`lishiga ishonch hosil qildik. (95) tengsizlik ana shuni ixtiyoriy sistema uchun umumlashtirishdan iboratdir. Bu tengsizlikning` qat`iy isboti bilan qiziqsan o`quvchi maxsus termodinamika kurslaridan qarab olishi mumkin.

### **Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni**

Mexanikaviy energiya issiqlikka aylanishida bu protsess juda sodda tarzda ro`y beradi: mexanikaviy energyaning hammasi issiqlikka aylanadi va bunday aylanishda qancha kaloriya hosil bo`lishini bilish uchun joullar sonini 0,239 ga ko`paytirish kifoya (mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti). Bunda foydalanish koeffitsienti hamma vaqt birga teng.

Bu paragrafda bayon qilingan Karno sikli bo`yicha ishlovchi issiqlik mashinasini mumkin bo`lgan issiqlik mashinalari ichida eng yaxshisi deb ta`riflagan va boshqa hech qanday mashina shu temperatura sharoitlarida bundan katta ish miqdori berishi mumkin emas degan edik. SHunga qaramasdan, hatto ana shu eng yaxshi mashinaning foydali ish koeffitsienti hamma vaqt birdan kichik va ko`p hollarda u ajablanarli darajada kichik bo`ladi. Agar, masalan, isitkichning  $T_o$  temperaturasi 373 K (suvning qaynash temperaturasi) ga, sovitkichning temperaturasi  $T_1 = 293$  K (xona temperaturasi) ga teng bo`lsa, u holda Karno ideal mashinasining foydali ish koeffitsienti

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_o}$$

bor-yo`g`i 22% ga teng bo`ladi. Real mashinalarda, masalan, parovozlarga o`rnataladigan mashinalarda bu koeffitsientning qiymati kam hollarda 10% dan ortar edi. SHunday qilib, issiqlik hisobiga uzlusiz (siklik) ish hosil qilish imkoniyatlari shu ma`noda cheklanganki, manbadan olingan issiqlik batamom ishga aylantirishi mumkin emas. Issiqlik hisobiga ish hosil qilish, umuman aytganda, sovitkichga beriladigan foydasiz yo`qotiladigan issiqlik tarzida juda qimmatga tushadi.

Bunday cheklanishlar xuddi termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni tomonidan qo`yilishiga oson ishonch hosil qilish mumkin.

Ideal gaz solingan idish berilgan deb faraz qilaylik. Dastlab termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni ta`sir qilmaydi deb olaylik. Demak, gaz molekulalari idishning butun hajmi bo`ylab tarqalishi ham mumkin va idishning qandaydir kichik qismida

to`planishi ham mumkin (mexanika qonunlari ham, termodinamikaning birinchi bosh qonuni ham bunga to`sinqinlik qilmaydi).

Gazning idish hajmining bir qismini egallagan va shunday qilib siqilgan paytini topib, bu qismni idishning boshqa qismidan porshen' ko`rinishidagi to`sinq bilan ajratishimiz mumkin. So`ngra gazning kengayishiga imkon berib, uni porshenni surish bo`yicha ish bajarishiga majbur qilishimiz mumkin. Bunda gaz sovimasligi uchun, biz uni muhit bilan issiqlik jihatidan kontaktda bo`lib turishini ta`minlaymiz, u tashqi muhitdan issiqlik olib turadi (demak, kengayish izotermik bo`ladi).

Gaz birinchi marta ish bajarib bo`lgandan keyin, uning yana qaytadan idishning bir qismiga to`planishini kutish mumkin (biz faraz qilganimizdek termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni ta`sir qilmasa, biz bunday bo`lishini kutishga haqlimiz) va to`plangandan keyin, uning yana kengayishiga va ish bajari-shiga imkon berish mumkin. Bunday sikllarni xohlagancha tak-rorlash mumkin.

Demak, bu prinsip asosida siklik ishlashining mashina yasash mumkin, bunday mashina ishlashining yagona natijasi issiqlik rezervuarining sovishi hisobiga ish hosil qilish (bajarish) bo`lar edi, ya`ni mashina mohiyati jihatidan «abadiy dvigatel» bo`lar edi. Biroq bu dvigatel' energiyaning saqlanish qonuniga zid kelmaydi. CHunki bu yerda ish «hech narsa»dan paydo bo`layotgani yo`q, balki gazning atrof muhitdan olgan issiqligi hisobiga bajarilyapti. Atmosferada, dengiz va okeanlarning suvlarida, Er qobig`ida energiya zapaslarini benihoya bo`lgani uchun bunday mashina amalda abadiy dvigateldan farq qilmagan bo`lar edi.

Bayon qilingan bunday gipotetik mashinani, ya`ni ishlashi faqat uning olgan issiqligi hisobiga mexanikaviy ish bajarishdan iborat bo`lgan mashinani energiyaning saqlanish qonuni buzilib sarf qilingan energiyadan ko`p miqdorda ish bajaruvchi birinchi tur abadiy dvigatellaridan farqli ravishda, ikkinchi tur abadiy dvigatel' deb ataladi. Ideal gazning izotermik kengayish protsessida  $dA = dQ$  bo`lgani uchun bunday mashinaning foydali ish koeffitsienti birga teng bo`lar edi.

Biroq haqiqatda bunday mashina ishlashi mumkin emas, chunki bizning gaz molekulalari o`z-o`zidan idish hajmining bir qismiga to`planadi deb kutishimiz bekor: molekulalarning bunday o`z-o`zidan kontsentratsiyalanishida entropiyaning kamayishi ro`y beradi va shuning uchun bunday o`z-o`zidan kontsentratsiyalanish mumkin emas. Bu yerda gap hamma vaqt issiqlikni ishga aylanish protsessini takrorlovchi *siklik* mashinaning bo`lishi mumkin emasligi to`g`risida borayotganini qayd qilish kerak. Bu shuning uchun muhimki, issiqlikning ishga aylanishidan iborat protsess bir martagina bo`lishi mumkin—u termodinamika-ning birinchi bosh qonuniga ham, ikkinchi qonuniga ham zid bo`lmaydi.

Ba`zan termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini ham, xuddi uning birinchi qonunini birinchi tur abadiy dvigatel' bo`lishi mumkin emas deb ta`riflangani singari, ikkinchi tur abadiy dvigateli bo`lishi mumkin emas deb ta`riflanadi.

Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni siklik issiqlik mashinasi *ishlashi uchun* nima talab qilinadi, degan savolga ham javob beradi.

Biz ishchi jism yordamida manbadan (isitkichdan) issiqlikni osongina olib, bu issiqlikni ishga aylantira olmaymiz, chunki bunday protsess isitkich entropiyasining kamayishiga olib keladi (ishchi jism aylanma protsessni bajargani uchun uning

entropiyasi o`zgarishsiz qoladi). Binobarin, bizning sistemamiz—isitkich va ishchi jismidan iborat ikki jismidan emas, balki uch jismidan iborat bo`lishi kerak, shu bilan birga uchinchi jismning vazifasi, issiqlik olishimiz natijasida isitkichning entropiyasi qanchaga kamaygan bo`lsa, entropiyani (o`z entropiyasini) loaqal shunday kattalikka orttirish bo`ladi  $\left( dS = \frac{dQ}{T} \right)$ . Uchinchi jismning entropiyasi ortishi

uchun unga isitkichdan olingan issiqlikning bir qismini berish kerak. Bu uchinchi jism—sovitkichdir. Uning temperaturasi past bo`lgani uchun unga isitkichdan olingan issiqlikdan kamroq issiqlik berish mumkin, bunda bu issiqlikning bir qismini ishga aylantirish mumkin bo`ladi. Bu sharoitlarda «isitkich — ishchi jism — sovitkich» sistemasining entropiyasi o`zgarishsiz qoladi, bunday protsess termodinamikaning ikkinchi bosh qonuniga ko`ra mumkin, chunki bu qonun faqat entropiya kamayadigan protsesslargagina yo`l qo`ymaydi.

Bundan siklik ishlaydigan mashina yordamida ishchi jismning isitkichdan olgan barcha issiqligini ishga aylantirish prinsip jihatidan mumkin emasligi kelib chiqadi. Issiqlikning bir qismidan biz albatta sovitkichga berishimiz kerak. Ana shu berilgan issiqlik olgan issiqligimizning ishga aylangan qismi uchun to`lagan haqimiz bo`ladi.

Biz bu yerda isitkichning entropiyasi qanchaga kamaygan bo`lsa, sovitkichga uning entropiyasini xuddi shunchaga oshiruvchi issiqlik miqdori berilgan holni ko`rdik. SHu narsa ravshanki, bu issiqlik miqdori mashinaning umuman ishlashi uchun zarur bo`lgan minimal issiqlik miqdoridir. Bunda entropiya o`zgarmas bo`ladi, ishga esa isitkichdan olingan issiqlik miqdorining maksimal miqdori aylanadi, demak, mashinaning foydali ish koeffitsienti maksimal bo`ladi. Entropianing o`zgarmasligi qaytuvchan protsessga muvofiq kelishini biz bilamiz. Ana shuning uchun ham foydali ish koeffitsienti maksimal bo`lgan ideal mashina qaytuvchan bo`lishi kerak. SHuning uchun Karno siklini bayon qilishda sikl bajarilayotganda issiqlik o`tkazuvchanlikning qaytmas protsesslari bo`lmaydi, kengaytirish va siqish esa qaytuvchan yo`l bilan amalga oshiriladi deb ta`kidlagan edik.

Aslida real mashinada siklning barcha bosqichlarida tamoman qaytar protsesslar bo`lishini ta`minlab bo`lmaydi. SHuning uchun entropiya o`zgarmas bo`lolmaydi, ortib boradi. Bu o`z navbatida shuni bildiradiki, real mashinada sovitkichga beriladigan issiqlik miqdori  $\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1}$  tenglik bilan aniqlanadi- gan issiqlik miqdoridan ko`proq bo`ladi.

Binobarin, bu holda isitkichdan olingan issiqlik miqdorining ishga aylantirilmay qoladigan qismi qaytuvchan mashinadagidan ko`proq bo`lib qoladi, ya`ni mashinaning foydali ish koeffitsienti Karno qaytuvchan sikli uchun hisoblangan foydali ish koeffitsientidan kam bo`ladi.

Entropianing ortishi, umuman, issiqlikning *mexanikaviy ishga aylantirishning qiyinroq bo`lib borayotganini bildiradi*. Buni quyidagi hisobdan ko`rish oson.

Temperaturasi  $T_1$  bo`lgan va ishchi jismga  $Q$  issiqlik miqdori berayotgan issiqlik manbaini ko`z oldimizga keltiraylik. Agar sovitkichning temperaturasi  $T_o$  bo`lsa, u

holda sovitkichga berilayotgan  $Q_0$  issiqlik miqdori  $\frac{Q}{T_1} = \frac{Q_0}{T_0}$  tenglikdan aniqlanadi, bundan

$$Q_0 = Q \frac{T_0}{T_1}.$$

Bu holda ishga aylanishi mumkin bo`lgan issiqlik miqdori quyidagiga teng bo`ladi:

$$Q - Q_0 = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right).$$

Agar  $T_2$  temperaturali boshqa isitkich olib, undan ham xuddi shunday  $Q$  issiqlik miqdori olinsa, u holda sovitkichga (avvalgi  $T_0$  temperaturali)  $\frac{Q}{T_2} = \frac{Q'_0}{T_0}$  tenglik bilan aniqlanadigan boshqa  $Q'_0$  issiqlik miqdori berishga to`g`ri keladi, bundan

$$Q'_0 = Q \frac{T_0}{T_2},$$

bu holda ishga aylanadigan issiqlik miqdori quyidagiga teng bo`ladi:

$$Q - Q'_0 = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right).$$

Bundan shu narsa kelib chiqadi: agar  $Q$  issiqlik miqdori  $T_1$  temperaturali jismdan  $T_2$  temperaturali jismga o`tsa, u holda issiqliknинг «ish bajara olish qobiliyati» (ya`ni issiqliknинг ishga aylanishi mumkin bo`lgan qismi) quyidagi kattalikka o`zgaradi:

$$Q \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) - Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = Q \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) T_0. \quad (98)$$

Binobarin, issiqliknинг bir jismdan ikkinchi jismga o`tganida «ish bajara olish qibiliyatining» o`zgarishi bunday o`tishda *entropiya o`zgarishi* bilan aniqlanar ekan. (98) formuladan ko`rinib turibdiki, entropianing *ortishi* issiqliknı ishga aylantirish imkonini *kamaytirar* ekan. entropianing ortishi go`yo issiqlik energiyasining qiymati pasayishiga, uning hisobiga ish bajarish imkoniyatining kamayishiga olib keladi. Bu nuqtai nazardan termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini shunday ta`riflash mumkin: har qanday berk sistemada har qanday (qaytmas) protsess shunday amalga oshadiki, bunda ishga aylanishi mumkin bo`lgan energiya miqdori kamayib, muvozanat holatida nolga intiladi.

SHuning uchun biz avvalroq kiritgan erkin energiya, ya`ni energiyaning izotermik protsess ( $dT = 0$ ) da mexanikaviy ishga aylanishi mumkin bo`lgan qismi ham entropiya bilan bog`langandir.

Energiyaning saqlanish qonuni tenglamasini yozamiz:

$$dQ = dU + dA.$$

$dS = \frac{dQ}{T}$  bo`lgani uchun  $dQ = TdS$  va bizning tenglamamiz shunday ko`rinishga keladi:

$$dU = TdS - dA \quad (99)$$

(99) tenglikdan shu narsa kelib chiqadi:]

$$-dA = dU - TdS = d(U - TS) \text{ yoki } dA = -d(U - TS)$$

(chunki  $T = \text{const}$  bo`lgani uchun  $SdT = 0$ ).

Oxirgi tenglama izotermik protsessdagi  $dA$  ish qandaydir  $U - TS$  funksiyaning o`zgarishiga teng ekanini ko`rsatadi. Bu funksiya sistemaning erkin energiyasi  $F$  ekanligi ravshan:

$$F = U - TS.$$

Erkin energiya, ya`ni mexanikaviy ish bajarishi mumkin bo`lgan energiya, demak,  $U$  ichki energiyadan  $TS$  kattalikni olinganiga teng ekan. SHu narsa ham ravshanki,  $TS$  energiyaning ishga aylanishi mumkin bo`lmagan qismini bildiradi va entropiya qancha katta bo`l-sa, energiyaning bu qismi ham shuncha katta bo`ladi. SHuning uchun  $TS$  kattalikni ba`zida *bog`langan energiya* deb ataladi.

(98) tenglamaning o`ng qismida turgan kattalik *bog`langan energiyaning  $T_0\Delta S$  o`zgarishidir*. Bu o`zgarish issiqlik energiyasi «ish bajara olish qobiliyati» ning o`zgarshiga teng.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Bog`langan energiya deganda nimani tushunasiz?
2. Erkin energiyani izohlang?
3. Termodinamikaning 1-2 qonunini ayting?
4. Entropiya deganda nimani tushunasiz?
5. Klauzius tengsizligini izohlang?
6. Qaytar va qaytmas jarayonlar?

## **28-Mavzu: Entropiya va ehtimollik. Entropiya va tartibsizlik. Termodinamikaning 3-qonuni. Manfiy temperaturalar.**

**Reja:**

1. Entropiya va ehtimollik.
2. Entropiya va tartibsizlik.
3. Termodinamikaning 3-qonuni.
4. Manfiy temperaturalar.
5. **Tayanch so'z va iboralar:** Siklik jarayon, Karno sikli, Entropiya, ehtimollik, tartibsizlik, Termodinamikaning 3-qonuni, manfiy temperaturalar.

*Bu mavzuda talabalarga termodinamik jarayonlar, Entropiya va ehtimollik, Entropiya va tartibsizlik, Karno sikli va teoremasi, shuningdek erkin energiya to'g'risida tushuncha va ma'lumotlar beriladi.*

***Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:***

- 1) Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
- 2) Tabiatda ro'y beradigan jarayonlar qanday termodinamik jarayonga kiradi?
- 3) Karno siklini tushuntirib bering.
- 4) Entropiya va ehtimollik?
- 5) Entropiya va tartibsizlik?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [6].

### **Entropianing fizikaviy ma`nosi. Entropiya va ehtimollik**

Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuning ko`rsatishicha, qaytmas protsesslar (amalda barcha issiqlik protsesslari, juda bo`lmaganda, tabiiy ro'y beradigan barcha protsesslar) shunday ro'y beradiki, bunda protsessda ishtirot etadigan jismlar sistemasining entropiyasi maksimal qiymatga intilgan holda ortib boradi. Sistema muvozanat holatiga kelganda entropiya maksimal qiymatga erishadi.

SHunday faraz qilaylik: ikki qismga bo`lingan idishda oltita molekula bor, bu molekulalarni bir-biridan «farq qilish» uchun ularning har birini fikran nomerlab qo`yamiz. Oddiy hisoblash yo`li bilan bu molekulalar idishning har ikkala yarmida 64 xil usul bilan joylashishi mumkin ekanligini aniqlash mumkin. Bunday joylashishlarning har biriga sistemaning muayyan holati mos keladi. Masalan, idishning chap qismida 1 ta molekula, o`ng qismida esa 5 ta molekula bo`lgandagi holat, idishning chap qismida 2 ta molekula va o`ng qismida 4 ta molekula bo`lgandagi holatdan farq qiladi. Sistemaning har bir holati molekulalar joylashishining umumiyligi sonidan nechtasi bilan amalga oshishini ko`raylik. Masalan, sistemaning idishning chap qismida birorta ham molekula bo`lmaydigan holati faqat bittagina bo`lishi mumkin ekanligini hisoblash qiyin emas. «CHapda 1, o`ngda 5» molekula bo`ladigan holat olti usul bilan, «chapda 2, o`ngda 4» molekula bo`ladigan holat o`n besh xil usul bilan amalga oshadi. Molekulalarning chapda va o`ngda uchtadan, ya`ni idishning har ikki qismida teng sonda bo`lib joylashishdan iborat holat eng ko`p amalga oshadi.

Umuman, agar idishda  $N$  ta molekula bo`lib, ular nomerlangan bo`lsa, u holda bu molekulalarni  $2^N$  usul bilan taqsimlash mumkin. Bu turli joylashishlar umumiyligi

sonidan idishning bir yarmida (masalan, chap yarmida)  $p$  ta molekula, boshqa yarmida esa  $N-p$  ta molekula bo`ladigan  $Z$  o`rinlashtirish shunday tenglik bilan aniqlanadi:

$$Z = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

(bunda  $0!$  soni  $1$  ga teng deb hisoblanadi).  $N$  ning har qanday qiymatida  $n = \frac{N}{2}$

bo`lganda  $Z$  ning qiymati eng katta bo`ladi, ya`ni molekulalarning idish hajmida teng taqsimlanadigan holati eng ko`p sonli usullar bilan amalga oshadi.

Ravshanki, agar idish ikkiga emas, balki ixtiyoriy sondagi qismlarga bo`linsa ham shunday natija olinadi.

Bundan zarralarning idishning har ikki yarmi orasida qanday taqsimlanish ehtimolligiga kelish qiyin emas. Agar biz ko`rgan misolimizda olti molekula bo`lganida ularning umumiy o`rinlashtirishlari soni  $64$  ga teng bo`lib, ulardan  $6$  tasi idishning chap qismida  $1$  molekula bo`ladigan holatga olib kelsa, demak, bu holatning ehtimolligi  $6/64$  ga teng bo`lishi ravshan. Teng taqsimlanish ehtimolligi esa  $20/64$  ga teng. Umuman idishning chap qismida  $N$  ta zarradan  $p$  tasi bo`lish ehtimolligi  $W$

$$W = \frac{N!}{n!(N-n)! 2^N}$$

ga teng.  $W$  ehtimollik ham  $n=N/2$  bo`lganda maksimum bo`lishi tushunarli.

SHunday qilib, sistemaning har bir holatini faqat bu holatning

$$W = (V'/V)^N$$

tenglik bilan aniqlanadigan  $W$  matematik ehtimolligi bilangina emas, shu bilan birga, ana shu holat amalga oshadigan usullar soni bilan ham xarakterlash mumkin ekan. Holat amalga oshadigan usullar soni *termodinamik ehtimollik* deb ataladi.

Asosli sabablarga ko`ra (biz bu sabablarni bu yerda bayon qilib o`tirmaymiz) Bol'tsman  $S$  entropiyani va  $w$  termodinamik ehtimollikni

$$S = k \ln \frac{w}{w_0}$$

munosabat orqali bog`ladi, bu yerda  $k$  — bizga ma`lum bo`lgan Boltzman doimiysi.

Formulani quyidagicha ham yozish mumkin:

$$S = k \ln w - k \ln w_0 = k \ln w - S_0.$$

Bundagi

$$S_0 = k \ln w_0$$

kattalikni entropiyaning hisob boshi uchun qabul qilish mumkin. U holda bu hisob boshidan hisoblangan entropiya quyidagi tenglik bilan ifodalanadi:

$$S = k \ln w. \quad (96)$$

Ba`zida sistemaning berilgan holatda bo`lish termodinamik ehtimolligini boshqa usul bilan aniqlanadi, bu usulning g`oyasini quyidagi misol bilan tushuntirish mumkin.

$N$  ta zarradan iborat gazning idish hajmining  $V' = V/m$  qismiga to`plangan holatda bo`lish ehtimolligi

$$W = \left( \frac{1}{m} \right)^N = \frac{1}{(V/V')^N} = \left( \frac{V'}{V} \right)^N$$

ga teng bo`lishini 76-§ da ko`rdik. Bu kattalikka teskari kattalikni kiritaylik:

$$w = \frac{1}{W} = \left( \frac{V}{V'} \right)^N \quad (97)$$

Bu kattalik  $w$  ehtimollikning gazning idish hajmini to`la egallahash ehtimolligidan qancha marta kichik ekanligini ko`rsatadi (gazniig idish hajmini to`la egallahash ehtimolligi birga teng, chunki  $V'$  hajm  $V$  ning bir qismi).

Agar molekulyar sistema holatining  $W$  matematik ehtimolligi qiymati ( $N$  ning katta qiymatlarida) hamma vaqt juda kichik bo`lsa, termodinamik ehtimollik  $w$  ning qiymati, aksincha, juda katta bo`ladi.  $w$  ning minimal qiymati bizning misolda birga teng bo`ladi ( $V' = V$  bo`lganda), holbuki  $W$  uchun bir — uning maksimal qiymati bo`ladi (bu ham  $V' = V$  bo`lganda).

(97) tenglama bilan aniqlanadigan  $w$  kattalik termodinamik ehtimollik deb ataladi. Ravshanki, termodinamik ehtimollikning har ikkala berilgan ta`rifi bir-biriga zid emas.

Bir mol modda uchun (97) ifodani yozamiz:

$$w = \left( \frac{V}{V'} \right)^{N_0}.$$

Bu yerda  $N_0$  — Avogadro soni.  $N_0 = R/k$  bo`lgani uchun

$$w = \left( \frac{V}{V'} \right)^{R/k}.$$

Bu tenglikni logarifmlab, shunday ifodani olamiz:  $\ln w = \frac{R}{k} \ln \frac{V}{V'}$  yoki  
 $k \ln w = R \ln \frac{V}{V'}.$

Bu tenglikning chap tomonida turgan kattalik Bolt'sman formulasiga muvofiq entropiyani bildiradi:

$$S = k \ln w.$$

Gazning bir moli  $V' = V_1$  hajmdan  $V' = V_2$  hajmgacha izotermik kengaydi, deylik. Gazning kengayguncha va kengaygandan keyingi entropiyasi uchun entropiya ifodasini yozamiz:

$$S_1 = k \ln w_1 = R(\ln V - \ln V_1),$$

$$S_2 = k \ln w_2 = R(\ln V - \ln V_2).$$

Bir tenglamani ikkinchisidan ayirib, kengayish natijasida entropiyaning o`zgarish kattaligini hosil qilamiz:

$$|\Delta S| = |S_2 - S_1| = k \ln \frac{w_1}{w_2} = R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Ma`lumki, izotermik protsessdagi kengayish ishi quyidagiga teng:

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Bu ifodani (89.4) bilan taqqoslasak, shunday natijani olamiz:

$$\Delta S = \frac{A}{T}.$$

Ikkinci tomondan, energiyaning saqlanish qonuniga asosan izotermik protsessda  $A = \Delta Q$ , bundan

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

SHunday qilib, biz  $\Delta S$  uchun Karko siklini analiz qilishda qanday ifoda hosil qilgan bo`lsak, o`sha ifodani oldik.

Entropiya bilan ehtimollik orasidagi bog`lanish termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini birmuncha boshqacharoq talqin qilishga imkon beradi. Bu qonun endi shunday ifodalananadi: tabiatda har qanday protsess shunday amalga oshadiki, bunda sistema ehtimolligi katta bo`lgan holatga o`tadi. SHu bilan birga ikkinchi qonundagi qat`iylik o`z kuchini yo`qotadi.

### **Termodinamikaning III bosh qonuni.**

Ko`p sonli tajribalar shuni ko`rsatadiki, har qanday sistemada temperatura pasayganda tobora ko`proq darajada tartiblashishga moyillik kuzatiladi. Jismlarning tuzilishini o`rganish, ularning magnitlik xossalari va ko`pgina boshqa ma'lumotlar buni tasdiqlaydi. Sistemaning tartiblashgan holati jismni tashkil qilgan zarralarning kam energiyasiga taalluqlidir, biroq yuqori temperaturalarda tartib o`rnatalishiga issiqlik harakati to`sinqinlik qiladi deb faraz qilish mumkin. Agar jismni absolyut nolgacha sovitish mumkin bo`lganda edi, u holda issiqlik harakatlari tartib o`rnatalishiga to`sinqinlik qila olmas, shuning uchun sistemada xayol qilingan maksimal tartib o`rnatalgan bo`lar va sistemaning bu holatiga minimal entropiya muvofiq kelar edi.

Biroq shunday savol tug`iladi: agar jism ustida tashqi ish bajarilsa (masalan, unga bosim berilganda) absolyut nolda bu jism o`zini qanday tutar ediq Absolyut nolda bo`lgan jismning eptropiyasi o`zgarishi mumkinmiq

Past temperaturalarda o`tkazilgan tajribalar asosida shunday ifodalananigan muhim xulosa chiqarish mumkin: *temperaturada har qanday holat o`zgarishlarida absolyut nol' entropiya o`zgarmaydi.*

Bu xulosani 1906 yilda Nernst chiqargan, uni *Nerst teoremasi* deb yuritiladi. Ba`zida bu teoremani *termodinamikaning uchinchi bosh qonuni* bilan tenglashtiriladi.

Yuqorida ko`rganimizdek, entropiya tushunchasini ehtimollik yordamida tahlil qilishdan absolyut nol' temperaturalda entropiya nolga teng bo`ladi degan xulosa kelib chiqadi, bu xulosa Nernst teoremasiga zid kelmaydi, albatta.

$T = 0$  bo`lganda entropiya ham nolga teng ekanligidan absolyut nolga erishish mumkin emas degan prinsipial xulosa kelib chiqadi, chunki agar temperaturasi nolga teng bo`lgan jism mavjud bo`lsa, ikkinchi tur dvigatel qurish mumkin

ekanligini ko`rsatish qiyin bo`lmasdi, termodinamikaning ikkinchi bosh qonuniga ko`ra bu mumkin emas. Ba`zida termodinamikaning uchinchi bosh qonunini *absolyut nol' temperaturaga erishib bo`lmaslik prinsipi* deb ifodalaniladi.

Termodinamikaning uchinchi bosh qonunidan (biz ham shunday deb ataymiz) past temperaturalarda moddaning tabiatи haqida muhim xulosalar kelib chiqadi. Masalan, undan temperatura pasaygani sari jismlarning issiqlik sig`imlari temperatura bilan birga nolga intiladi, absolyut nolda u nolga teng bo`lishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Tajriba shunday ekanini yaxshi tasdiqlaydi. Jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsienti, siqilish koeffitsienti va hokazolarning ham nolga intilishini va  $T = 0$  bo`lganda esa bu koeffitsientlarning nolga teng bo`lishini qo`rsatish mumkin. SHu bilan birga, bularning hammasi muvozanat holatdagi sistemalarga tegishlidir. Muvozanat holatida bo`lmagan jismlarda absolyut nolda entropiya noldan farq qilishi ham mumkin.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Entropiya va ehtimollik deganda nimani tushunasiz?
2. Entropiya va tartibsizlikni izohlang?
3. Termodinamikaning 3-qonuni tushuntiring?
4. Nerst teoremasi deganda nimani tushunasiz?
5. Manfiy temperaturalar deganda nimani tushunasiz?
6. Absalyut nol haroratni izohlang?
7.  $S = k \ln \frac{w}{w_0}$  formuladagi k va  $\frac{w}{w_0}$  ni tushuntiring?

**29-Mavzu: Suyuqliklarning hajmiy xossalari. Suyuqliklardagi kuchlar. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar. Sirt taranglik.**

**Reja:**

1. Suyuqliklarning hajmiy xossalari haqida ma'lumot.
2. Suyuqliklardagi kuchlar.
3. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar haqida ma'lumot.
4. Sirt taranglik hodisisi haqida ma'lumot.

**Tayanch so'z va iboralar:** Suyuqliklarning hajmiy xossalari. Suyuqliklardagi kuchlar. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar. Sirt taranglik.

*Bu mavzuda talabalarga suyuqlikning xossalari, ularning issiqlikdan kengayishi, ularning issiqlik sig'imi qanday hisoblanadi?*

**Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:**

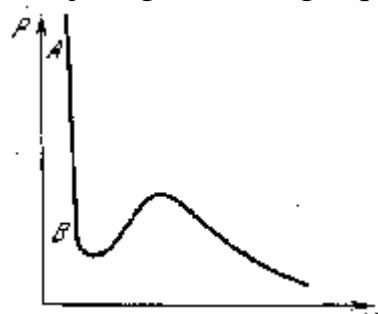
- 1) Suyuqlik xossalarni sanab o'ting.
- 2) Suyuqliklarning issiqlikdan kengayishini tushuntirib bering.
- 3) Suyuqliklarning issiqlik sig'imi qanday hisoblanadi?

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [4], [5], [6].

### Suyuqliklarning xossalari.

Suyuqlikning asosiy xususiyatlari uning o`z hajmini saqlash qobiliyati (gazlardan farqli o`laroq, suyuqliklarning hajmi ular egallagan idish hajmi bilan aniqlanmaydi) va suyuqliklarda erkin sirtning mavjud ekanligidir.

Bilamizki, Van-der-Vaals tenglamasi taxminiy tenglama bo`lib, uni xuddi ideal gazlarda Klapeyron tenglamasi yordamida olib borilgan hisoblashlar kabi turli hodisalarning aniq hisobi uchun foydalanib bo`lmaydi. Biroq suyuqliklarning ba`zi xossalarni, juda bo`Imaganda sifat jihatidan, holat tenglamasi asosida hisoblash mumkin. Suyuqliklarning bunday xossalariiga, masalan, ularning issiqlikdan kengayishi va siqiluvchanligi kiradi. Suyuqliklarning xossalarni biz ularning ana shunday hajmiy xossalardan boshlab o`rganamiz. So`ngra biz suyuqliklarning boshqa hajmiy xossalarni o`rganamiz va ularni gazlarning tegishli xossalari bilan taqqoslaymiz. SHundan so`ng sirtiy hodisalar, ya`ni suyuqlikning erkin sirti mavjudligi bilan bog`liq bo`lgan hodisalarni o`rganamiz.



18-rasm.

### Suyuqliklarning hajmiy xossalari

Dastlab suyuqliklarning bevosita holat tenglamasidan o`rganilishi mumkin bo`lgan xossalarni; ularning siqiluvchanligi va issiqlikdan kengayishini qaraymiz.

**Suyuqliklarning siqiluvchanligi.** Ma`lumki,  $r$  bosim bir birlikka o`zgorganida hajmnинг  $dV$  nisbiy o`zgarishi jismning  $\chi$  siqiluvchanlik koefitsienti deb ataladi, ya`ni

$$\chi = \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (133)$$

Ideal gazlar uchun I bobda ko`rsatilganidek bu kattalik

$$\chi = -1/p$$

ga teng bo`ladi, masalan,  $p=1$  atm bo`lganda  $\chi=-1$  atm<sup>-1</sup> ga teng: bosim bir atmosferadan ikki atmosferaga ortganida gazning hajmi ikki marta kamayadi.

Gazlardan farqli o`laroq,, suyuqliklarning siqiluvchanligi juda kichik bo`ladi. Bunday ekanligi Van-der-Vaals tenglamasi egri chizig`idan (18-rasm) yaqqol ko`rinib turibdi, bu egri chiziqda suyuq holatga AV qismi muvofiq keladi. Bu qismning tikligi  $\frac{dV}{dp}$  hosilaning, demak, siqiluvchanlikning juda kichik ekanligidan

darak beradi: hajmning juda kichik o`zgarishi uchun bosimning juda katta o`zgarishi kerak bo`ladi. Tajriba shuni ko`rsatadiki, suyuqliklarning siqiluvchanlik koeffitsienti haqiqatan juda kichik va ularning ko`pchiligi uchun  $10^{-4} - 10^{-5}$  atm<sup>-1</sup> chegarasida yotadi. Binobarin, u gazlardagi qiymatidan o`nlab va yuzlab ming marta kichik. Barcha suyuqliklar ichida suyuq geliyning siqiluvchanligi eng kattadir, bir necha atmosfera bosimida suyuq geliyning  $\chi$  koeffitsienti  $8 \cdot 10^{-3}$  atm<sup>-1</sup> ga teng. Suvning siqiluvchanlik koeffitsienti  $4,53 \cdot 10^{-5}$ , simobniki  $3,95 \cdot 10^{-6}$  atm<sup>-1</sup> ga teng.

Siqiluvchanlik koeffitsienti bosimga bog`liq bo`ladi, bosim ortishi bilan koeffitsient kichrayib boradi. Bu tabiiy, chunki suyuqlik siqilgan sari uning zarralari orasidagi masofa kamayadi va ularning o`zaro itarishish kuchlari ortadi, bu ravshanki, zarralarning yanada yaqinlashishini qiyinlashtiradi. SHu narsani qayd.qilish kerakki, agar odatdagi bosimlarda turli suyuqliklarning siqiluvchanliklari bir-biridan katta farq qilishi mumkin bo`lsa, juda yuqori bosimlarda barcha suyuqliklarning siqilish koeffitsientlari deyarli birday bo`ladi.

Suyuqlikning siqiluvchanlik koeffitsienti temperaturaga bog`liqdir. CHunki isiganda issiqlikdan kengayish tufayli suyuqlikning hajmi ortadi va molekulalar orasidagi masofa kattalashadi. SHuning uchun zarralar orasidagi itarishish kuchlari kamayadi va suyuqlikning siqilishi osonlashadi. SHuning uchun temperatura ortishi bilan siqilish koeffitsienti kattalashadi. Tajribadan olingan ma`lumotlar to`plami suyuqlikning siqiluvchanlik koeffitsienti uchun quyidagi empirik formulani chiqarishga imkon berdi:

$$\chi = \frac{A}{V(p + p_T)} \quad (134)$$

bu yerda  $A$ —temperatura ortishni bilan ortib boruvchi biror funksiya,  $r$ —tashqi bosim va  $p_T$  —Van-der-Vaals kuchlari bilan ( $T$  temperaturadagi) bog`liq bo`lgan bosimdir. (134) formula siqiluvchanlik koeffitsientining haqiqatan ham temperatura ortishi bilan kattalashishini, bosim ortishi bilan esa kichiklashishini ko`rsatadi.

(134) formula, albatta, bosimning uncha katta bo`lmagan sohasi uchun yaroqli bo`lgan taqrifiy formuladir.

**Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi.** Moddaning issiqlikdan kengayishi ma`lumki, hajmiy kengayish koeffitsienti

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (135)$$

bilan, ya`ni  $T$  temperatura 1 K ga o`zgarganida  $V$  hajmning nisbiy o`zgarishi bilan xarakterlanadi.

I bobda ideal gazlar uchun  $\alpha = 1/T$  ekanligi ko`rsatib o`tilgan edi. Muzning erish temperaturasi ( $T=273$  K) da  $\alpha = 1/273$  ( $3,66 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ) bo`ladi. Suyuqliklarda hajmiy kengayish koeffitsienti o`zining miqdoriy qiymati jihatidan kichikroq va uning temperaturaga bog`liqligi ham birmuncha zaifroq bo`ladi.

5-jadvalda xona temperaturasida ba`zi suyuqliklar uchun  $\alpha$  ning qiymatlari berilgan.

5-jadval

### **Ba`zi suyuqliklarning xona temperurasidagi hajmiy kengayish koeffitsientlari**

Modda	$\alpha, K^{-1}$	Modda	$\alpha, K^{-1}$
Etil spirti	$1,1 \cdot 10^{-1}$	Zaytun moyi	$7,2 \cdot 10^{-4}$
Efir	$1,63 \cdot 10^{-3}$	Suv (15°S da)	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Glitserin	$5,3 \cdot 10^{-4}$	Suv (90°S da)	$7,0 \cdot 10^{-4}$
Simob	$1,8 \cdot 10^{-4}$		

Bosim va temperaturaning koeffitsientga ta`siri haqida biz yuqorida aytib o`tgan gaplarimizdan shu narsa kelib chiqadiki, issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti bosimning ortishi bilan kamayishi (bu, albatta, kengayishga to`sinqinlik qiladi) va temperatura ko`tarilishi bilan ortishi kerak.

Issiqlikdan kengayish hodisasi, xuddi siqiluvchanlik singari Van-der-Vaals holat tenglamasi asosida qaralishi, bu tenglamadan  $\alpha$  koeffitsientni aniqlovchi  $\frac{dV}{dT}$  kattalikning qiymatini keltirib chiqarish mumkin (VIII bobga q.).

Bu yerda shuni qayd qilish kerakki, mos holatlar qonunidan barcha suyuqliklar uchun birday keltirilgan temperaturalarda issiqlikdan kengayish koeffitsienti bir xil bo`ladi. Siqiluvchanlik koeffitsienti haqida ham shunday deyish mumkin. Tajriba bu xulosani juda yaxshi (Van-der-Vaals tenglamasidan kelib chiqadigan boshqa natijalarga ko`ra yaxshiroq) tasdiq-laydi.

### **Siqiluvchanlik koeffitsienti va issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsienti orasidagi munosabat.**

Juda umumiy mulohazalardan, hatto moddaning holat tenglamasini bilmagan holda ham, quyidagi kattaliklar orasidagi munosabatlarni aniqlash mumkin:

- 1)  $\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$  — o`zgarmas bosimda temperaturaning o`zgarish birligiga to`g`ri keluvchi jism hajmining o`zgarishi (issiqlikdan kengayish);
- 2)  $\left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$  — o`zgarmas temperaturada jismga ta`sir qilayotgan bosimning o`zgarish birligiga to`g`ri keluvchi jism hajmining o`zgarishi (siqiluvchanlik);
- 3)  $\left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$  — o`zgarmas hajmda temperaturaning o`zgarish birligiga to`g`ri kelgan bosim o`zgarishi (issiqlik kuchlanishi).

Ko`rsatilgan uchala kattalik orasidagi bog`lanish shu shart bilan belgilanadi.

Bu bog`lanishni miqdoriy jihatdan aniqlashga urinib ko`ramiz. Bosim, hajm va temperatura orasidagi munosabat holat tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$p = f(V, T). \quad (136)$$

(136) bog`lanishning ko`rinishi qanday bo`lishidan qat`i nazar shunday deyish mumkin: agar jismni  $V$  va  $T$  qiymatlar bilan aniqlanadigan holatdan unga cheksiz yaqin bo`lgan hajm va temperaturaning  $V+dV$  va  $T+dT$  qiymatlari bilan aniqlanadigan holatga o`tkazilsa, u holda bunday o`tish tufayli bosimning  $dp$  o`zgarishi bu holat o`zgarishining qanday yo`l bilan erishilganiga bog`liq bo`lmaydi. Buning ma`nosi shuki, quyidagi

$$dp = \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_T dV + \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V dT \quad (137)$$

ifoda to`liq differentialsialdir, ya`ni bosimning to`la o`zgarishi uning hajmnинг o`zgarishi tufayli va temperaturaning o`zgarishi tufayli alohida o`zgarishlari yig`indisiga teng. Yana bir bor eslatib o`tamizki, o`zgarmas temperaturada ( $dT=0$ ) bosimning o`zgarishi ishorasi jihatidan hajmning o`zgarishiga teskari bo`ladi. Agar hajm o`zgarmas saqlansa ( $dV=0$ ), u holda bosimning o`zgarish ishorasi temperaturaning o`zgarish ishorasiga mos keladi.

Agar hajm o`zgarishi  $dV$  ning temperatura o`zgarishi  $dT$  ga nisbatini shunday tanlansaki, unda bosim o`zgarmasdan qolsa, ya`ni  $dp=0$  bo`lsa, u holda xususiy hosilaning ta`rifiga ko`ra, bu nisbatni  $\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$  ko`rinishida yozish mumkin, U holda

(137) tenglamadan ayniy ravishda  $dp=0$  bo`lganda quyidagi kelib chiqadi:

$$\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = - \frac{\left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V}{\left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_T}, \quad (138) \text{ yoki } \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{\left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_V}$$

ekanini nazarga olib, shunday simmetrik ayniyatni olamiz:

$$\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_V = -1 \quad (139)$$

bu ayniyat bizni qiziqtirgan kattaliklar orasidagi aloqaning miqdoriy ifodasıdır.

Bu munosabatning barcha jismlar uchun o`rinli ekanligi ravshandir.

(139) tenglamani unga tajribada o`lchanadigan hajmiy kengayish koeffitsienti  $\alpha$  va (izotermik) siqilish koeffitsienti  $\chi$  kiradigan shaklda qayta yozamiz:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p, \quad \chi = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T.$$

U holda shunday ifoda hosil qilamiz:

$$\alpha V \frac{1}{\chi V} \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_V = -1 \quad \text{yoki} \quad \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = -\frac{\alpha}{V}. \quad (140)$$

(140) tenglama shuni ko`satadiki, agar suyuqlikning temperaturasini (har qanday moddaning temperaturasini ham) o`zgarmas hajmda o`zgartirsak, u holda temperaturaning bir gradus o`zgarishi bilan yuzaga keladigan bosim o`zgarishi issiqlikdan hajmiy kengayish va siqilish koeffitsientlarining nisbatiga teng bo`ladi.

## Suyuqlik chegarasida bo`ladigan hodisalar

**Sirt taranglik koeffitsienti.** Suyuqlikning boshqa muhit bilan tegishib turgan sirti, masalan, shu suyuqlikning bug`i, biror boshqa suyuqlik yoki qattiq jism (xususan suyuqlik turgan idishning devorlari) bilan tegishib turgan sirti suyuqlikning qolgan massasiga nisbatan boshqacha alohida sharoitlarda bo`ladi.

Bu alohida sharoitlarning paydo bo`lishiga sabab shuki,. suyuqlikning chegara qatlami molekulalari, uning ichidagi molekulalaridan farq qilib, hamma tomonlaridan shu suyuqlik-ning molekulalari bilan o`ralgan emas. Sirtqi molekulalarning «qo`shnilaridan» bir qismi — shu suyuqlik chegaralangan ikkinchi muhitning zarralaridir. Bu muhit esa suyuqlikdan tabiatli jihatidan ham, zarralarining zichligi jihatidan ham farq qilishi mumkin.

Agar suyuqlik o`z bug`i (to`yingan bug`i) bilan chegaralangan bo`lsa, ya`ni biz *bitta* modda bilan ish ko`rayotgan bo`lsak, u holda sirtqi qatlamdagagi molekulalarga suyuqlik *ichiga* qarab yo`nalgan kuch ta`sir qiladi. Buning sababi shuki, suyuqlikda molekulalarning zichligi suyuqlik ustidagi to`yingan bug` molekulalari zichligidan ancha katta bo`ladi (kritik temperaturadan uzoqda) va shuning uchun sirtqi qatlam molekulasiga suyuqlik molekulalar tomonidan ta`sir qilayotgan tortishish kuchi bug` molekulalari tomonidan ta`sir qilayotgan tortishish kuchiga qaraganda katta bo`ladi. Bundan shunday xulosa chiqadi: molekula sirtqi qatlamdan suyuqlik ichiga siljiganda *musbat* ish bajaradi. Aksincha, molekulalarning suyuqlik hajmidan uning sirtiga o`tishida *manfiy* ish bajariladi, ya`ni tashqi ish bajarish kerak bo`ladi.

Biror sabab bilan suyuqlik sirti kattalashmoqda (cho`zilmoqda) deb faraz qilaylik. Demak, molekulalarning ma`lum soni suyuqlik hajmidan sirtqi qatlamga o`tadi. Buning uchun hozirgina ko`rganimizdek tashqi ish sarflash kerak. Boshqacha aytganda, suyuqlik sirtining ortishida manfiy ish bajariladi. Aksincha, sirt qisqarganida *musbat* ish bajariladi.

Agar o`zgarmas temperaturada qaytuvchan yo`l bilan suyuqlikning sirti cheksiz kichik *dS* kattalikka o`zgartirilsa, u holda buning uchun

$$dA = -\sigma dS \quad (141)$$

ishni bajarish kerak bo`ladi. Minus ishorasi sirtining kattalashishida (*dS > 0*) manfiy ish bajarilishini ko`rsatadi.

$\sigma$  koeffitsient suyuqlik sirtining xossalarni xarakterlovchi asosiy kattalik bo`lib, *sirt taranglik koeffitsienti* deb ataladi ( $\sigma > 0$ ). Binobarin, *sirt taranglik koeffitsienti o`zgarmas temperaturada suyuqlik sirti yuzini bir birlikka orttirish uchun zarur bo`lgan ish bilan o`lchanadi*.

SI sistemasida  $\sigma$  ning o`lchamligi  $J/m^2$ , SGS sistemasida  $erg/sm^2$  bo`lishi ravshan. Bu aytilganlardan suyuqlikning sirtqi qatlami molekulalari suyuqlikning hajmidagi molekulalarga qaraganda ortiqcha *potentsial energiyaga ega* bo`ladi degan xulosa kelib chiqadi.

$U_s$  energiyaning paydo bo`lishiga suyuqlikning *sirti* sabab bo`lgani uchun bu energiya suyuqlik sirtining *S* yuziga proportsional bo`lishi kerak:

$$U_s = \sigma S. \quad (142)$$

U holda sirt yuzining *dS* o`zgarishi potentsial energiyaning ham

$$dU_s = \sigma dS$$

o`zgarishiga sabab bo`ladi, bunday o`zgarishda esa (141) ga to`la muvofiq holda quyidagi ish bajariladi:

$$dA = -dU_s = -\sigma dS.$$

Agar, yuqorida ko`rsatib o`tilganidek,  $S$  sirtning o`zgarishi o`zgarmas temperaturada, ya`ni izotermik (va qaytuvchan) ro`y berayotgan bo`lsa, u holda ravshanki, buning uchun kerak bo`ladigan ish sirtning  $G$  erkin energiyasining o`zgarishiga teng:

$$dA = -dF.$$

(Agar suyuqlik sirtining o`zgarishi adiabatik amalga oshirilsa, u holda suyuqliknинг temperaturasi o`zgaradi. Masalan, suyuqliknинг sirti ortganida u soviydi.) Binobarin, yuqorida aytilgan suyuqlik sirtining ortiqcha potentsial energiyasi sirtning *erkin energiyasi* bo`ladi va binobarin,

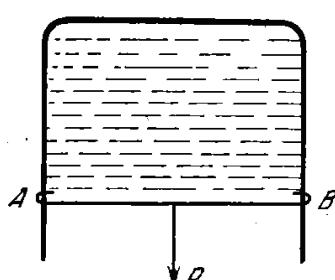
$$\sigma = F/S \quad (143)$$

ya`ni suyuqliknинг sirt taranglik koeffitsientini bu sirtning yuz birligidagi erkin energiyasi deb ta`riflash mumkin.

Endi suyuqliknинг sirti ega bo`ladigan alohida sharoitlarning nimadan iborat ekanligi endi ravshan bo`ldi. Ular shundan iboratki, suyuqliknинг sirti suyuqliknинг qolgan massasiga nisbatan ortiqcha potentsial (erkin) energiyaga ega bo`lar ekan.

Buning nimaga olib kelishini ko`raylik.

Ma`lumki, har qanday sistema ham muvozanat holatida o`zining energiyasi minimal qiymatga ega bo`ladigan holatlarning birida bo`ladi. Qarayotgan holga qo`llaganimizda bu shuni bildiradiki, suyuqlik muvozanat holatida *mumkin bo`lgan minimal sirtga ega bo`lishi* kerak. Bu o`z navbatida suyuqlik *sirtining kattalashishiga to`sinqilik qiladigan*, ya`ni bu sirtni qisqartirishga intiluvchi kuchlar mavjud ekanligini bildiradi.



19-rasm.

Ravshanki, bu kuchlar sirtning o`zi bo`ylab, sirtga *urinma* ravishda yo`nalgan bo`ladi. Suyuqlikka go`yo uning sirtiga o`tkazilgan urinma bo`ylab bu sirtni qisqartiruvchi (taranglovchi) kuch ta`sir qiladi. Bu kuchlarni *sirt taranglik kuchlari* deb ataladi.

Biroq shuni esda tutish kerakki, sirt taranglik kuchlarining kelib chiqishiga birinchi sabab sirtqi qatlam molekulalariga ta`sir qilayotgan suyuqlik ichiga qarab yo`nalgan, ba`zi hollarda esa suyuqlik chegaralangan muhit ichiga qarab yo`nalgan, ya`ni sirtga perpendikulyar yo`nalgan kuchlardir.

Sirtni uzish, yoki boshqacha aytganda, sirtni ajratish uchun sirtga parallel va ajratish mo`ljallanayotgan chiziqqa perpendikulyar tashqi kuchlar bilan ta`sir qilish kerak.

Suyuqliknинг yupqa pardalari bilan o`tkaziladigan tajribalarda bu ayniqsa yaqqol ko`rinadi. Ba`zi suyuqliklar, masalan, sovunli SUV, saponin va hokazolar yupqa pardalar hosil qilish xossasiga ega. Agar bir tomoni qo`zg`aladigan sim ramkani (19-rasm) sovun

eritmasiga botirib olinsa, bu ramkani suyuqlik pardasi qoplab oladi. Sirt taranglik kuchlari pardani qisqarishga majbur qiladi va AV qo`zg`aluvchan sim

tomon parda ortidan yuqoriga qarab siljiydi. Bu qo`zg`aluvchan simni muvozanatda saqlash uchun unga biror  $R$  yukcha qo`yish kerak bo`ladi (uning o`z og`irligi ham shu hisobga kiradi).

SHunday qilib, pardada ta`sir qilayotgan sirt taranglik kuchi ayni holda ajralish chizig`i bo`lgan  $AV$  chiziqqa perpendikulyardir. Ramkaning boshqa tomonlariga ham albatta shunday kuchlar ta`sir qiladi. Biroq bu tomonlarda ular suyuqlikning qattiq ramka moddasining molekulalari tortishish kuchi bilan muvozanatlashadi.

Bayon qilingan tajribadan parda hosil qilgan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientining son qiymatini aniqlashda foydalanish mumkin. Haqiqatan ham, agar pardaning ikki sirti (chunki parda ham suyuqlikning yupqa qatlamidir) mavjudligi nazarda tutilsa,  $f$  sirt taranglik kuchi muvozanat holida  $R$  yukning og`irligiga teng:

$$2f = P \quad \text{va} \quad f = \frac{P}{2}.$$

Agar bu kuch ta`sirida ramkaning qo`zg`aluvchan tomoni pardaga ilashib (tutinib)  $AV$  vaziyatdan  $dH$  masofaga siljigan bo`lsa, u holda bu kuchning bajargan ishi quyidagiga teng bo`ladi:

$$dA = f dh.$$

Bu ish pardaning erkin energiyasining kamayishiga, ya`ni biz (143) dan bilganimizdek  $dF = \sigma dS$  ga teng. Ayni holda  $dS = l dh$ , bu yerda  $l$  — ramkaning uzunligi. Bundan

$$dA = \sigma l dh = f dh = \frac{P}{2} dh.$$

va

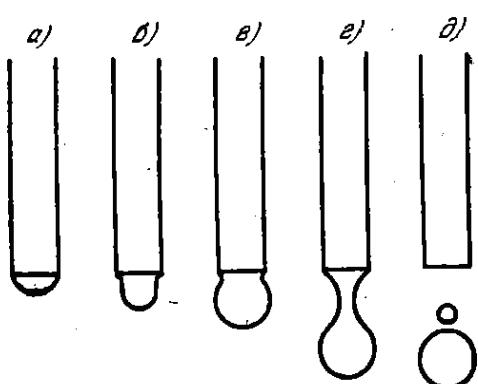
$$\sigma = \frac{P}{2l}. \quad (144)$$

(144) dan sirt taranglik koeffitsienti *suyuqlik sirtiga urinma bo`ylab ta`sir qiluvchi va ajralish chizig`ining uzunlik birligiga to`g`ri keluvchi kuchga teng kattalikdir* deb ta`riflash mumkin.

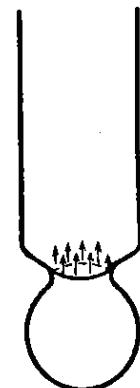
SHunday usul bilan aniqlangan sirt taranglik koeffitsienti SI sistemasida N/m, SGS sistemasida esa dina/sm hisobida o`lchanadi.

**Suyuqlik tomchilar.** Suyuqlik faqat og`irlik kuchini sun`iy ravishda yo`qotilgandagina (Plato tajribasida qilinganidek) sferik shaklga ega bo`lmaydi. Suyuqlikning kichik hajmi ham o`z-o`zidan sharga yaqin shaklni qabul qiladi, chunki bunda suyuqlik massasining kichikligi tufayli unga ta`oir qiluvchi og`irlik kuchi ham kichik bo`ladi. Sirt energiyasi bu holda ham og`irlik kuchi potentsial energiyasidan katta bo`ladi va suyuqlikning shakli sirt energiyasining o`zi bilan belgilanadi.

Suyuqlikning uncha katta bo`limgan tomchilar sharsimon shaklda bo`lishining sababi shu. Simob tomchilarining sharsimon shaklda bo`lishi hammaga ma`lum, simobning sirt taranglik koeffitsienti boshqa ko`plab erigan metallardagi singari ancha katta, masalan, 500 dina/sm ga yaqin. SHu sababli ingichka naychadan oqib tushayotgan suyuq tomchilarining qat`iy sharsimon shaklda bo`ladi.



**20-rasm.**



**21-rasm.**

Naychadan chiqishda tomchining o`lchami tobora ortib boradi, biroq uning aniq bir o`lchamga etgandan keyingina uzilishi mumkin. Buning sababi shuki, tomchi etarlicha katta bo`lmaganida sirt taranglik kuchlari og`irlilik kuchiga qarshi turib, uning uzilmasligini ta`minlay oladi. Tomchining og`irligi uni tutib turgan sirt taranglik kuchiga teng bo`lganidan tomchi uziladi. Bundan tomchilarning uzilishiga doir kuzatishlardan sirt taranglik koeffitsientining son qiymatini aniqlash mumkin ekanligi kelib chiqadi.

20-rasmda tomchining hosil bo`lish protsessi ko`rsatilgan. Tomchi uzilishdan oldin uning radiusi naychaning radiusidan ancha kichik bo`lgan bo`yni hosil bo`ladi. SHu bo`yining aylanasi bo`ylab sirt taranglik kuchi ta`sir qiladi (21-rasm), tomchining uzilish paytida bu kuch og`irlilik kuchiga teng bo`ladi. Agar bo`yining radiusi  $r$ , suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti esa  $\sigma$  bo`lsa, u holda sirt taranglik kuchi  $2\pi r \sigma$  ga teng bo`lishi ravshan. Binobarin, tomchi  $2\pi r \sigma = P$  shart bajarilgan paytda uziladi.

Uzilgan tomchining og`irligi  $R$  va bo`yining uzilish paytidagi radiusini o`lchab, suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini hisoblash mumkin. Bo`yin radiusini etarlicha aniqlikda belgilash uchun uzilayotgan tomchi ma`lum kattalashtirish bilan ekranga proektsiyalanadi va undan diametri o`lchanadi. Uzilayotgan tomchining  $R$  og`irligi analitik tarozilarda o`lchanadi. Odatda aniqlikni oshirish uchun ma`lum sondagi tomchilarni sanab, so`ngra ularning umumiyligi og`irligi aniqlanadi.

Aslida tomchining uzilishi yuqorida bayon qilingani singari sodir bo`lmasa-da, sirt taranglik koeffitsientini bunday eksperimental aniqlash usuli yaxshi natijalar beradi. Aslida tomchi uning bo`ynining aylanasi chizig`i bo`ylab uzilmaydi. Tomchining o`lchami aniqlanadigan qiymatga yetgan paytida 20-g rasmda ko`rsatilganidek bo`yin tez ingichkalasha boshlaydi, shu bilan birga bu tomchi bilan birga 20-d rasmda ko`rsatilganidek yana bitta kichik tomchi hosil bo`ladi.

6-jadvalda bu holatni tasvirlovchi sirt taranglik koeffitsientlari haqida ma`lumotlar keltirilgan.

6-jadval

## Xona temperaturasida ba`zi suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsientlari

Modda	$\sigma \cdot 10^3$ , N/m	Modda	$\sigma \cdot 10^3$ , N/m
Suv — benzol	33,6	Simob — spirit Suv	399
Suv — zfir	12,2	Simob	73
Simob — suv	427		490

Bu jadvaldan ko`rinib turibdiki, ikki suyuqlik chegarasidagi sirt taranglik koeffitsienti hamma vaqt suyuqlik sirti erkin bo`lganidagidan kichik bo`lar ekan. Bu tabiiy, chunki sirtqi qatlam molekulalarining chegaralovchi muhit bilan o`zaro ta`sir kuchlarini «o`z» molekulalari bilan o`zaro ta`sir kuchlari qarama-qarshi tomonga yo`nalgandir.

### Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi kuchlar.

Ko`p hollarda suyuqlikning sirti egrilangan bo`lishini ko`rdik. Hatto shunday deyish mumkinki, suyuqlik uchun normal sirt — notekis sirtdir, chunki suyuqlikning sirti yassi (tekis) bo`lishi uchun tashqi kuchning ta`siri — og`irlik kuchi yoki suyuqlik bilan chegaradosh bo`lgan moddaning zarralari orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari bo`lishi kerak (ho`llanishda suyuqlikning yoyilishi).

Suyuqlik sirtining egriligi shu sirt ostida turgan suyuqlikka ta`sir qiluvchi kuchlarning paydo bo`lishiga olib keladi. Quyidagi oddiy mulohazalardan bunga ishonch qilish mumkin. Suyuqlikning  $r$  radiusli sferik tomchisini ko`z oldimizga keltiraylik (27-rasm). Sfera radiusi ortganida uning sirtining yuzi va unga mos holda sirt energiyasi ham ortadi. Ravshanki, bunga ish sarf qilish yo`li bilangina erishish mumkin. Aksincha, tomchi radiusi kichrayganida sirt energiyasi ham kamayadi. Demak, ish tomchining o`zida ta`sir qilayotgan kuchlar tomonidan bajariladi. Bundan shunday xulosa chiqadi: sferik sirt ostidagi suyuqlik hajmi hamma vaqt birmuncha siqilgan bo`ladi, ya`ni radial yo`nalan, yoki boshqacha aytganda sirtga perpendikulyar yo`nalan qo`shimcha bosim ta`sirida bo`ladi. Bu mulohazalar sirtning egriligi bilan bog`liq bo`lgan ana shu qo`shimcha bosim kattaligini ham hisoblashga imkon beradi.

Haqiqatan ham, bu bosim ta`sirida suyuq shar o`z hajmini 27-rasmida ko`rsatilganidek  $dV$  ga kamaytirgan bo`lsin. Suyuqlikni siqish ishi sirt energiyasining kamayishi hisobiga bajarilganligi ravshan<sup>1</sup>. Siqish ishi  $dA$ , ma`lumki,  $p dV$  ga teng, bu yerda  $p$  — bosim, ya`ni

$$dA = p dV \quad (150)$$

Sirt energiyasining kamayishi esa

$$dF = \sigma dS \quad (151)$$

ga teng, bu yerda  $dS$  — shar sirtining uning radiusining  $dr$  ga kamayganiga mos holda kamayishi. SHarning sirti va hajmi uchun ma`lum formulalardan  $S = 4\pi r^2$  va  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  quyidagi ifodani olamiz:

$$dS = 8\pi r dr, \quad dV = 4\pi r^2 dr.$$

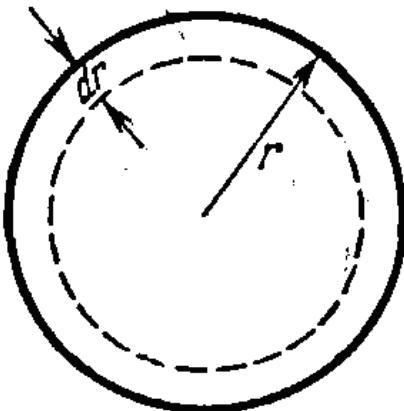
<sup>1</sup> Siqishda suyuqlikning hajmiga bog`liq bo`lgan erkin energiyasi ham kamayadi, bu kamayish suyuqlik ustidagi to`yingan bug' erkin energiyasining ortishi bilan kompensatsiyalanadi.

$dS$  va  $dV$  ning bu qiymatlarini (150) va (151) tenglamalarga qo`yib hamda  $|dA| = |dF|$  ekanini nazarga olib, quyidagini keltirib chiqaramiz:

$$p \cdot 4\pi r^2 dr = \sigma \cdot 8\pi r dr,$$

bundan suyuqlikka uning egri sirti ko`rsatayotgan bosimi uchun shunday ifoda hosil qilamiz:

$$p = \frac{2\sigma}{r}. \quad (152)$$



27-rasm.

Agar suyuqlikning sirti sferik bo`lmay, tsilindrik bo`lsa, u holda egrilik tufayli hosil bo`ladigan qo`shimcha bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$p = \frac{\sigma}{r} \quad (153)$$

Haqiqatan ham,  $r$  radiusli  $l$  uzunlikdagi tsilindr uchun  $V = \pi r^2 l$ ,  $S = 2\pi r l$  va shunga mos holda  $dV = 2\pi r l dr$ ,  $dS = 2\pi l dr$

bundan

$$dA = pdV = 2\pi p l r dr, \quad dF = \sigma dS = 2\pi \sigma l dr.$$

$|dA| = |dF|$  shartdan bevosita (153) ifoda kelib chiqadi.

Umumiy holda har qanday shakldagi sirt (sferikmas va tsilindrikmas) uchun, sirtning egriligi bilan bog`liq bo`lgan bosim *Laplas tenglamasi* deb atalgan tenglama bilan ifodalanadi:

$$p = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (154)$$

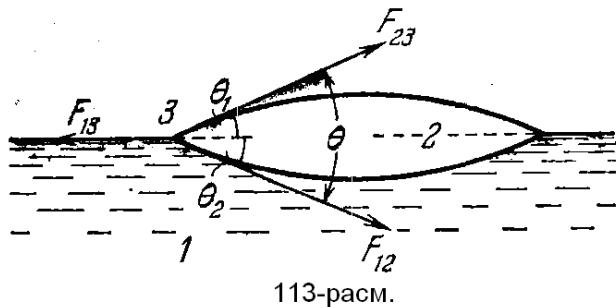
bu yerda  $r_1$  va  $r_2$  —sirtning berilgan nuqtasidagi yoki aniqrog`i, sirtning shu berilgan elementi uchun asosiy egrilik radiuslari.

Bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuqlikning tegishish chegarasida yuzaga keladigan sharoitlarni yanada batafsilroq ko`rib chiqaylik.

22-rasmda ko`rsatilganidek, 2 suyuqlikning tomchisi 1 suyuqlikning sirtida joylashtirilgan (masalan, suv yuzida yog` tomchisi) bo`lsin. Tomchining og`irligi suyuqlikni bir oz yosmiqsimon egilishga majbur qiladi. Biroq shu narsani qayd qilish kerakki, hamma vaqt ham bir suyuqlikning tomchisi ikkinchisi sirtida yosmiqsimon egilish hosil qilavermaydi. Masalan, benzin va kerosin tomchilari suv yuzida kamalak

rangida tovlanadigan dog` shaklidagi yupqa pardalar hosil qiladi (kamalak ranglarining hosil bo`lishiga quyosh nurlarining qaytishi bilan bog`liq bo`lgan interferentsiya hodisalari sabab bo`ladi).

Qanday sharoitda yosmiqsimon shakl va qanday sharoitda yupqa pardalar hosil bo`lishini ko`raylik.



22-rasm.

rol' o'ynamacligini ko'rsatib o'tgan edik.

Uch muhitning tegishish chegarasi yosmiqsimon shaklni chegaralovchi aylanadir. Bu aylananing  $dl$  uzunlik elementiga uchta sirt taranglik kuchi ta'sir qiladi.

$F_{12} = \sigma_{12}dl$  - 1 va 2 suyuqliklar orasidagi chegaradagi kuch;

$F_{13} = \sigma_{13}dl$  - «1 suyuqlik — gaz» chegarasidagi kuch;

$F_{23} = \sigma_{23}dl$  - «2 suyuqlik — gaz» chegarasidagi kuch.

Bu kuchlarning har biri tegishli ikki muhitning tegishish sirtiga urinma bo'ylab yo`nalgan;  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  va  $\sigma_{23}$  tegishli sirt taranglik koeffitsientlari (amalda  $\sigma_{13} = \sigma_1$  va  $\sigma_{23} = \sigma_2$  deb hisoblash mumkin, chunki gazsimon muhit suyuqliklarning sirt energiyalariga kam ta'sir ko'rsatadi).

2 suyuqlik muvozanatda bo`lishi uchun har uchala kuchning koordinata o`qlariga proektsiyalarining yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak, ya`ni (22-rasmga q.)

$$F_{13} = F_{23} \cos \theta_1 + F_{12} \cos \theta_2, \quad 0 = F_{23} \sin \theta_1 - F_{12} \sin \theta_2 \quad (145)$$

yoki

$$\sigma_{13} = \sigma_{23} \cos \theta_1 + \sigma_{12} \cos \theta_2, \quad 0 = \sigma_{23} \sin \theta_1 - \sigma_{12} \sin \theta_2 \quad (145-a)$$

(145-a) dagi ikkala tenglikni kvadratga ko'tarib va ularni qo'shib, quyidagicha yozamiz:

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{23}^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_{23}\sigma_{12}(\cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2)$$

yoki

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{23}^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_{23}\sigma_{12} \cos(\theta_1 + \theta_2).$$

Bunda  $\theta_1 + \theta_2$  ni  $\theta$  orqali belgilab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{23}^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_{23}\sigma_{12} \cos \theta. \quad (146)$$

(145) va (146) tenglamalardan  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  va  $\theta = \theta_1 + \theta_2$  burchaklar aniqlanadi.  $\theta_1$  va  $\theta_2$  burchaklar, ya`ni 2 suyuqlik tomchisi sirti va uning tegishayotgan 1 suyuqlik sirtiga o`tkazilgan urinmalar oralaridagi burchaklar *chegaraviy burchaklar* deyiladi.

CHegaraviy burchaklar (muvozanatda) suyuqliklarning tegishish chegaralaridagi uchta koeffitsient  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  va  $\sigma_{23}$  larning munosabati, ya`ni har bir suyuqlik ichidagi va suyuqliklar orasidagi molekulyar kuchlarning munosabati bilan aniqlanadi.

Xususan  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  va  $\sigma_{23}$  koeffitsientlar orasidagi munosabat shunday bo`lishi mumkinki,  $\theta=1$  va demak,  $\theta=0$ . Bu holda 2 suyuqlik 1 suyuqlik sirtida yupqa qatlama tarzida yoyilib ketadi (masalan, benzinning suvdagi yoyilishi). Bunday holda

22-rasmdan ko`rinib turibdiki, biz ko`rayotgan holda quyidagi muhitlar bir-biri bilan chegaralangan: 1 suyuqlik 2 suyuqlik bilan chegaralangan; 1 va 2 suyuqliklar 3 muhit bilan chegaralangan. 3 muhit — bu 1 va 2 suyuqliklar bug`larining havo bilan aralashmasi (agar tajriba havoda o`tkazilayotgan bo`lsa). Biz gazsimon muhitning bo`lishi unchalik

1 suyuqlikni 2 suyuqlik *tamomila ho`llaydi* (yoki aksincha) deb yuritiladi. Fizikaviy jihatdan bu  $F_{13}$  kuchning kattalik jihatidan  $F_{12} + F_{23}$  kuchlarning teng ta`sir etuvchisidan katta ekanligini bildiradi:

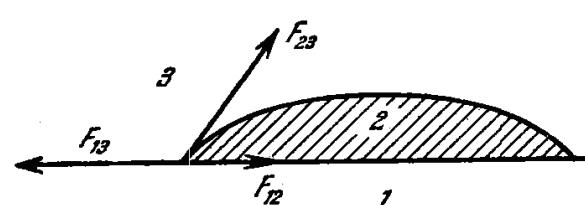
$$F_{13} \geq F_{12} + F_{23} \quad (147)$$

22-rasmdan ko`rinib turibdiki, bunda natijaviy kuch tomchini yoyadigan yo`nalishda yo`nalgan. Agar  $F_{13} < F_{23} + F_{12}$  bo`lsa, u holda suyuqlik  $F_{13}$  kuch  $F_{23} + F_{12}$  ga teng bo`lgunga qadar tortiladi (siqiladi). Bu yosmiqsimon shakl hosil bo`lishining shartidir:

$$F_{13} = F_{23} + F_{12}. \quad (148)$$

Kanakunjut moyining hech qanday mazasi yoki hidi bo`lmagani holda odam og`ziga tushganda hamma kishilarda noxush sezgining paydo bo`lishiga sabab moy bilan so`lak orasida (147) shartning bajarilishidir. SHuning uchun kanakunjut moyi so`lak bilan tegishganda yupqa qatlam bo`lib yoyilib ketadi va butun og`iz bo`shlig`ini to`ldirib, odatda tashqi moddalar kira olmaydigan qulq oldi bo`shliqlariga ham tarqab ketadi. Bu narsa noxush fiziologik sezgi uyg`otadi.

**Suyuqlik va qattiq jism chegarasi.** Suyuqlik qattiq jism bilan tegishganda ham xuddi shunga o`xshash hodisalar sodir bo`ladi. Bunday holda suyuqlikning qanday shaklga kelishi suyuqlikka ta`sir qiluvchi uchta kuch: og`irlik. kuchi, suyuqlik molekulalarining o`zaro ta`sir kuchlari va suyuqlik zarralari suyuqlikning tegishib turgan qattiq jism zarralari orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarining munosabatiga bog`liq. Bu kuchlar munosabati uchun *chegaraviy burchak* 6, ya`ni suyuqlikning sirtiga u bilan qattiq jism chegarasida o`tkazilgan urinma hamda qattiq jism sirti hosil qilgan burchak xarakteristika bo`la oladi.



23-rasm.

proektsiyalarining yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak):

$$F_{13} = F_{23} \cos \theta + F_{12},$$

bundan

$$\cos \theta = \frac{F_{13} - F_{12}}{F_{23}} = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}}, \quad (149)$$

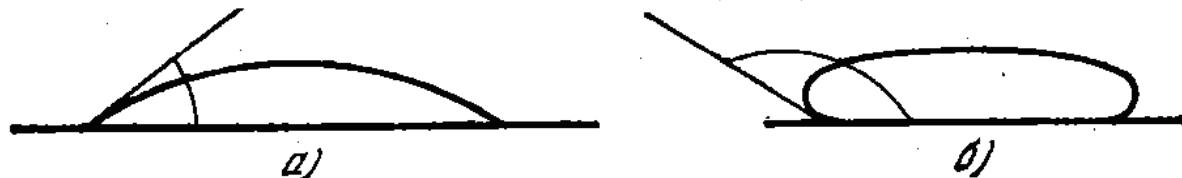
bu yerda  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  va  $\sigma_{23}$  — qattiq jismlar ham ega bo`lgan tegishli sirt taranglik koeffitsientlari. Agar  $\sigma_{13} - \sigma_{12} = \sigma_{23}$ , ya`ni  $\theta=0$  bo`lsa, u holda suyuqlik qattiq jism sirti bo`ylab yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bunday hol esa  $\sigma_{13} - \sigma_{12} > \sigma_{23}$  bo`lganda kuzatiladi.

Suyuqlikning to`la yoyilib ketish hodisasi *to`la ho`llash* deb ataladi. Bunday hodisa, masalan, suvning toza oyna ustida yoyilishi uchun xarakterlidir.

$\theta = \pi$  bo`lgan hol esa ( $\sigma_{13} + \sigma_{23} = \sigma_{12}$ , bo`lganda) qattiq jismning to`la ho`llanmasligiga tegishlidir. Bunday hodisa, masalan, suv uchun parafinda kuzatiladi.

Ko`pincha 24-*a* rasmida ko`rsatilgan qisman ho`llash ( $\theta < \frac{\pi}{2}$ ) yoki

24-*b* rasmida ko`rsatilgan qisman ho`llamaslik ( $\theta > \frac{\pi}{2}$ ) oraliq holatlari kuzatiladi.

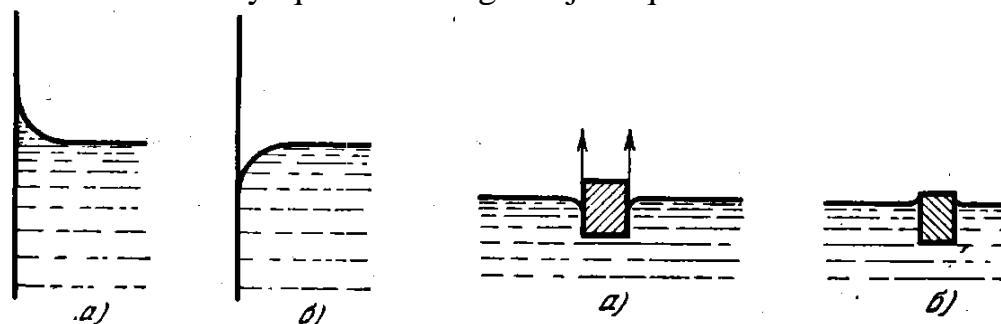


24-rasm.

Suyuqlik zarralarining qattiq jism zarralari bilan o`zaro ta`siri idishga qo`yilgan suyuqlik sirtining shakliga ta`sir qiladi. Agar keng idishga ko`p miqdor suyuqlik quyilgan bo`lsa, u holda suyuqlikning sirti og`irlilik kuchi bilan aniqlanadi, og`irlilik kuchi esa, tabiiyki, tekis va gorizontal (ko`zgu) sirt bo`lishini ta`minlaydi.

Biroq idishning devorlari yaqinida suyuqlik sirti har holda bir oz egrilanadi va ho`llovchi suyuqliklarda botiq (25-*a* rasm) va ho`llanmaydigan suyuqliklarda qavariq (25-*b* rasm) menisk hosil qiladi. Suyuqlik sirtining ho`llanish bilan bog`liq bo`lgan egrilanishi ba`zan suyuqlik sirtida zichliklari suyuqlik zichligidan katta bo`lgan va shuning uchun bu suyuqlikda cho`kadigan jismlarni cho`ktirmay ushlab turishga imkon beradi.

Bunday o`ziga xos «suzib yurishni» 26-a rasmdan foydalanib tushuntirish oson, bu rasmda brusok materialini ho`llamaydigan suyuqlik sirtida kesimi to`g`ri to`rtburchak shaklidagi brusokka ta`sir qiluvchi kuchlar ko`rsatilgan. Agar brusokning chizma tekisligiga perpendikulyar yo`nalishdagi uzunligi  $l$  ga teng bo`lsa, u holda kesimdagи sirtqi kuch  $2\delta l$  ga teng va yuqoriga qarab yo`nalgan. Bu kuch brusok og`irligidan Arximed kuchining ayirilganiga teng bo`ladi. Agar brusokning og`irligi kichik bo`lsa, u sirtda cho`kmay turadi. Agar brusokning materiali, 26-*b* rasmda ko`rsatilganidek, suyuqlik tomonidan ho`llansa, u holda sirt taranglik kuchi — hatto brusok moddasining zichligi suyuqlik zichligidan kichik bo`lsa ham — brusokni suyuqlikka botishga majbur qiladi.



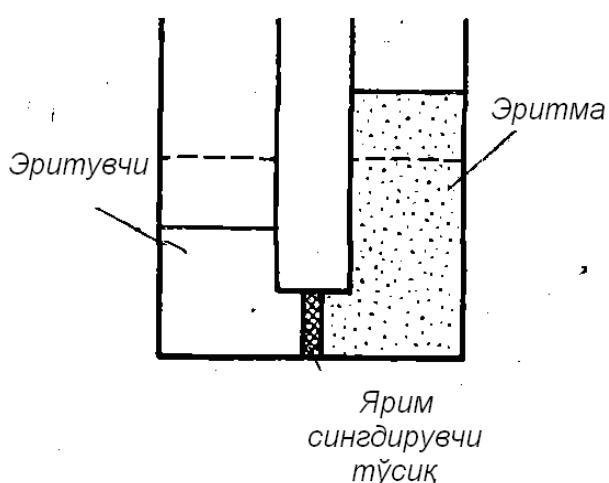
25-rasm.

26-rasm.

## Osmotik bosim.

Ayni bir idishda eritma va sof erituvchi bir-biriga tegib turibdi deb faraz qilaylik. Ravshanki, erigan moddaning zarralari eritmadan erituvchiga o`tadi va bu protsess muvozanat qaror topganidan keyingina, ya`ni erigan modda erituvchining butun hajmi bo`ylab tekis taqsimlangandan keyingina tugaydi. Xuddi shuningdek, agar eritma va sof erituvchi emas, balki turli kontsentratsiyali ikki eritma bir idishda bo`lsa dam, erigan modda zarralariiing yuqori kontsentratsiyali eritmadan kuchsiz kontsentratsiyali eritmaga diffuziyasi ro`y beradi, bu diffuziya butun hajmi bo`ylab kontsentratsiya tenglashguncha davom etadi. erigan modda erituvchidagi butun hajmni egallahsga intilib, xuddi o`zi turgan idishning butun hajmini egallahsga intilib kengaygan gaz singari, go`yo kengayadi.

Gaz idishning devorlariga bosim bergani va bu devorlar qo`zg`aluvchan (porshen) bo`lganda kengayishda uni siljitimish ishini bajargani singari, erigan modda ham eritma va erituvchini yoki turli kontsentratsiyali ikki eritmani ajratuvchi chegaraga bosim berishi kerak (bu yerda kontsentratsiyalar farqi gazlardagi bosimlar farqi rolini o`ynaydi). Agar eritma bilan sof erituvchi orasiga *yarim singdiruvchi to`siq*, ya`ni erituvchi oson o`tadigan, biroq erigan modda o`tolmaydigan to`siq qo`yilsa, u holda bu bosimni kuzatish mumkin (28-rasm). Bunda erituvchi eritmaga o`tadi va idishning eritma turgan qismidagi eritma sathi ko`tariladi. erigan modda zarralari go`yo to`sinqni erituvchi orqali siljitimishga intiladi, biroq amalda qattiq mahkamlangan to`siq emas, suyuqlikning sathi siljiydi (agar yarim singdiruvchi porshenni qo`zg`aluvchan qilish mumkin bo`lganda edi, o`sha porshen siljigan bo`lar edi).



28-rasm.

Tajribaning ko`rsatishicha, osmotik bosim eritmaning kontsentratsiyasiga proporsional, uning hajmiga esa teskari proporsional bo`ladi. Vant-Goff bu kattaliklar orasidagi bog`lanishning quyidagi ko`rinishda bo`lishini ko`rsatdi (1887 y.):

$$\pi V = nRT .$$

Bu yerda  $\pi$  — osmotik bosim,  $V$  — eritmaning hajmi,  $n$  — erikan modda mollari soni,  $R$  — universal gaz doimiysi va  $T$  — temperatura. Bu tenglama bilan ifodalangan qonun *Vant-Goff qonuni* deb ataladi.

Erigan moddaning yarim singdiruvchi porshenga ko`rsatayotgan bosimi *osmotik bosim*, bu bosim tufayli erituvchining eritmaga o`tishi *osmos* deb ataladi. Paydo bo`lgan gidrostatik bosim osmotik bosimga tenglashgunga qadar eritma suyuqligining sathi ko`tarilishda davom etadi. Agar eritmaga tashqi bosim berilsa, u holda sathning ko`tarilishiga yo`l qo`ymaslik mumkin. To`sinqning har ikki tomonida sathlarning tengligini saqlashga zarur bo`lgan bu bosim qiymati osmotik bosimga teng bo`ladi.

Vant-Goff qonuni tenglamasining ideal gaz holati tenglamasiga to`la ravishda o`xshashligi kuchsiz eritmada erigan modda zarralarining ideal gaz molekulalari singari tabiatga eta ekanligini ko`rsatadi, shuning uchun Vant-Goff qonunini shunday ta`riflash mumkin: *erigan moddaning osmotik bosimi shu moddaning gazsimon holatda shu temperaturada va xuddi shu hajmda ko`rsatishi mumkin bo`lgan bosimga tengdir.*

O`z-o`zidan ravshanki, osmotik bosim yarim singdiruvchi to`sinqning turiga ham, erituvchining turiga ham bog`liq bo`lmaydi. Molyar kontsentratsiyalari bir xil bo`lgan har qanday eritmalarining birday osmotik bosim berishi tushunarli.

Erigan modda bilan ideal gaz tabiatidagi o`xshashlikning sababi shundaki, ideal gazning zarralari o`zaro ta`sirda bo`lmasani singari, juda kuchsiz eritmalarida erigan moddaning zarralari ham o`zaro ta`sirlashmaydi.

SHu narsani ham qayd qilib o`tish kerakki, erigan modda erish vaqtida ionlarga ajraladigan (dissotsiatsiyalanadigan) hollarda Vant-Goff qonuni to`g`ri bo`lmaydi. Demak, bu kislotalar, tuzlar va ishqorlarning barcha eritmalariga (elektrolitlarga) tegishlidir.

Osmotik bosim hayvonlar va o`simliklar hayotida katta rol o`ynaydi. To`qimalarda suvning va suvda erigan moddalarning taqsimlanishi ko`p jihatdan osmotik bosim bilan aniqlanadi. Bunga sabab ko`plab organlarning qobiqlari (terisi) yarim singdiruvchi to`siquidan iborat ekanligidadir.

### **Mustahkamlash uchun savollar.**

1. Suyuqliklarning hajmiy deganda nimani tushunasiz?
2. Suyuqliklardagi kuchlarni izohlang?
3. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar deganda nimani tushunasiz?
4. Sirt taranglik hodisasini tushuntiring?
5. Sirt taranglik koeffitsiyenti nima?
6. Ho'llash va ho'llamaslik deganda nimani tushunasiz?
7. Osmotik bosimni izohlang?
8. Suyuqliklardagi kuchlar deganda nimani tushunasiz?
9. Vant-Goff qonunini izohlang?

### **30-Mavzu: Kristall panjara va ularning turlari. Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi. Plimorfizm. Kristallar anizatropiyasi. Metallarda diffuziyaning mehanizmlari. Metallarning issig'lik sig'imi.**

**Reja:**

1. Kristall panjara va ularning turlari.
2. Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi.
3. Plimorfizm.
4. Kristallar anizatropiyasi.
5. Metallarda diffuziyaning mehanizmlari.
6. Metallarning issig'lik sig'imi.

**Tayanch so'z va iboralar:** Kristall panjara, Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi, Plimorfizm, Kristallar anizatropiyasi, Metallarda diffuziya, metallarning issig'lik sig'imi.

*Bu mavzuda talabalarga kristallar, ularning tuzilishi. Kristall ichidagi kuchlar, kristallar simmetriyasi, dislokatsiya hamda qattiq jismdagi nuqsonlar to'g'risida tushuncha beriladi.*

***Ushbu mavzuni o'zlashtirish uchun quyidagi savollarga talabalar javob bera olishlari kerak:***

- 1) Kristall ichidagi kuchlarni tushuntirib bering.
- 2) Kristallar simmetriyasi nimadan iborat?
- 3) Real kristallar qanday tuzilgan?
- 4) Dislokatsiya deb nimaga aytildi?
- 5) Qattiq jismda uchraydigan nuqsonlarni aytib bering.

Adabiyotlar: [1], [2], [3], [5].

#### **Kristallar. Kristall panjara va ularning turlari.**

Qattiq jismlar uchun suyuqliklardagi singari faqat hajmini saqlash qobiliyatigina emas, shu bilan birga shaklini ham saqlash qobiliyati xarakterlidir. Faqat yagona bir modda (geliy) dan tashqari barcha moddalar etarlicha past temperaturalarda qattiq holatga o'tadi. Bu shuni bildiradiki, zarralarning issiqlik harakatlari tezligi kichik bo`lganida, ular orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari atomlarning siljishini shunchalik cheklab qo`yadiki, jism o`z shaklini saqlash va tashqi kuch ta`sirida o`zgorganidan so`ng qayta tiklash qobiliyatiga ega bo`ladi. SHaklini saqlash (shaklining elastikligi) qobiliyati qattiq jismlarni suyuq va gazsimon moddalardan farq qiluvchi asosiy tashqi xossadir. Qattiq jismlar ularni suyuq jismlardan ajratuvchi yana qator xossalarga ega. Bu farqlar ko`p jihatdan suyuqliklar va gazlarni ajratib turuvchi farqlarga qaraganda ancha chuqurroqdir.

Vaholanki, bu hamma qattiq jismlarga tegishli bo`lavermaydi. SHunday moddalar ham borki, shakllarinya saqlash belgisiga qarab qattiq jismlarga tegishli bo`ladi, biroq qolgan boshqa xossalari jihatidan suyuqliklardan farq qilmaydi. Amorf moddalar deb ataladigan bunday moddalarga shisha, turli smolalar, plastmassalar kiradi. Bu tur moddalar xuddi kovushoqligi anomal katta bo`lgan suyuqlik tabiatiga ega bo`lib, shu tufayli ular odatdagি va past temperaturalarda oqa olmaydi. Biroq

temperatura ortganida ularning qovushoqligi kamayadi va ular tobora yumshab, so`ngra suyuqliklarga xos oqish qobiliyatiga ega bo`ladi.

Bunga qarama-qarshi o`larоq, «haqiqiy» qattiq jismlarda bunday yumshoqlanish ro`y bermaydi, biroq bu qattiq jismlar ham temperatura ortganida suyuq holatga o`tadi. Biroq bunday o`tish temperaturaning tobora ortishida emas, balki ayni shu modda uchun muayyan bo`lgan aniq bir temperaturada — erish temperaturasida saqlash bilan bo`ladi. Bu «haqiqiy» qattiq jismlarni amorf jismlardan farq qiluvchi asosiy xususiyatlardan biridir. Qattiq holatning bu va boshqa xususiyatlari qattiq jismlarning ichki tuzilishida suyuqliklar va amorf jismlarda bo`lmaydigan qandaydir o`ziga xoslik bo`lishini bildiradi. Qattiq jismning termodinamik holati, suyuqlikning va gazning holati singari, bizga ma`lum bo`lgan holat parametrlari — hajm bosim va temperatura bilan aniqlanadi.

Biz qattiq jismning xossalarining uning suyuqlik va gazlardan farq qiluvchi xususiyatlardan va bu xususiyatlardan yotuvchi xossalardan boshlab o`rgana boshlaymiz.

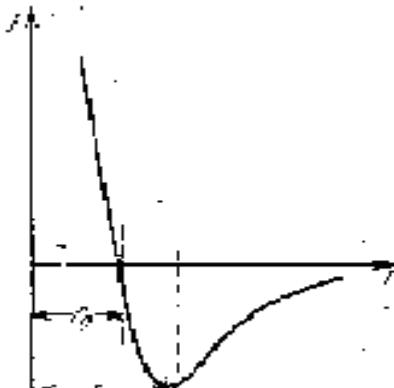
Hozirgi vaqtida shu narsa aniqlangan deyish mumkinki, qattiq jismlarning xossalari ular atomlari (yoki boshqa zarralari) ning suyuqlik va gazlardagi singari xaotik emas, balki har bir o`ziga xos xarakterli modda uchun aniq muayyan tartibda joylashganligi bilan bog`liqdir, shu bilan birga, qattiq jismlarda atomlarning bunday tartibli joylashishi jismning butun hajmiga tegishli bo`ladi (*uzoq tartib* deb yuritiladi). Zarralari ana shunday muntazam joylashgan jismlar *kristall* jismlar deb ataladi. Faqat shunday jismlargina qattiq jism deb hisoblanishi kerak. Amorf va jumladan, suyuq jismlarda zarralarning bunday tartibli joylashishi faqat qo`sni atomlargagining xos bo`ladi (*yaqin tartib* deb yuritiladi).

Qattiq jismning tuzilishida atomlarning tartibli joylashishga o`tishiga shu atomlar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari sabab bo`ladi. Soviganda kristallarning hosil bo`lishi o`z-o`zidan sodir bo`lgani uchun kristallda atomlar shunday joylashadiki, ularning o`zaro ta`sir kuchlari maydonidagi potentsial energiyalari minimal, kuchning o`zi esa nolga teng bo`ladi.

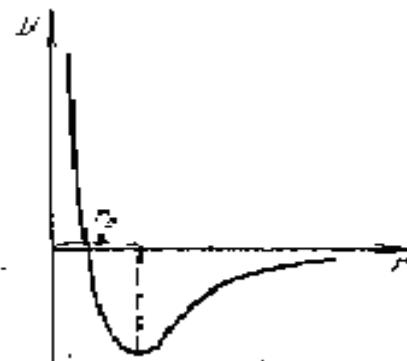
Atomlar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarining tabiatini yaxshin ma`lum. Bu har bir atomda bo`ladigan musbat va manfiy zaryadli zarralar (elektronlar va yadrolar)ning tortishish va itarishish elektr kuchlaridir. Bu kuchlar nihoyatda murakkab, buning birinchi sababi shuki, bunda jismning barcha atomlaridagi barcha elektronlar va yadrolarning o`zaro ta`siri haqida gal boradi. Biroq hamma gap faqat kuchlarning ko`p sonli bo`lishida emas, balki klassik fizika bu kuchlarni mutlaqo tavsiflab bera olmaslididir. Hatto vodorod molekulasiyadagi bor-yo`g`i ikki atomning o`zaro ta`siridan iborat eng sodda holni ham klassik fizika asosida tavsiflab va tushuntirib bo`lmaydi.

Bu masalani kvant mexanikasi hal qiladi, biroq bu bizning kurs doirasiga kirmaydi. Biz bu yerda faqat ikki atom orasidagi o`zaro ta`sir kuchi  $G$  ning bu ikki atom orasidagi  $r$  masofaga bog`lanishi 29-rasmida ko`rsatilgan ko`rinishda bo`lishini qayd qilib o`tamiz. Katta masofalarda atomlar bir-biri bilan amalda ta`sirlashmaydi, shuning uchun bunda  $G$  kuchni nolga teng deb hisoblash mumkin.  $r$  masofa kamayganida atomlar orasida *tortishish kuchi* yuzaga keladi (kuchning manfiy

belgisi uning tortishish xarakteriga ega ekanini ko`rsatadi). Bu kuch absolyut qiymat jihatidan  $r$  kamaygani sari biror masofagacha ortib boradi.



29-rasm.



30-rasm.

So`ngra kuch kamayadi va atomlar orasidagi biror  $r_0$  masofada u nolga teng bo`ladi.  $r$  ning yanada kamayishida kuch yana paydo bo`ladi, biroq bu endi *itarishish* kuchi bo`ladi, bu kuch atomlar orasidagi masofa kamayishi bilan ortib boradi va  $r \rightarrow 0$  da cheksizlikka intiladi.

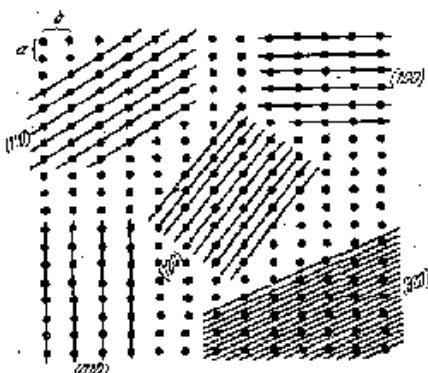
Bu  $F(r)$  egri chiziqlar atomlar o`zaro ta`sir potentsial ener-giyasi  $I/U$  ning  $g$  ga bog`liqlik egri chizig`i mos keladi, bu egri chiziqlarning 30-rasmida ko`rsatilgan. Bu egri chiziqlarning o`xshashligi o`quvchini taajjublantirmasligi kerak, chunki  $F$  ning  $U$  bilan o`zaro

$$F = -\frac{dU}{dr}$$

munosabatda bo`lishi ma`lum.

Atomlar orasidagi masofa  $r_0$  ga teng bo`lganda o`zaro ta`sir kuchi nolga teng bo`ladi, bu masofada potentsial energiya minimum orqali o`tadi. Bu holatdagi atom to`g`risida atom «potentsial o`raning» tubida turibdi deb gapiriladi. Bu holatning muvozanat holati ekanligi ravshan. Haqiqatan ham, zarraning muvozanati unga ta`sir etuvchi kuchlarning yig`indisi nolga teng ekanligi, potentsial energiyaning esa minimal bo`lish bilan xarakterlanadi.

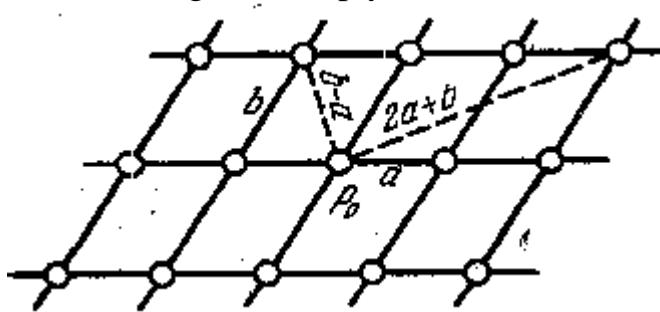
## Kristall panjara



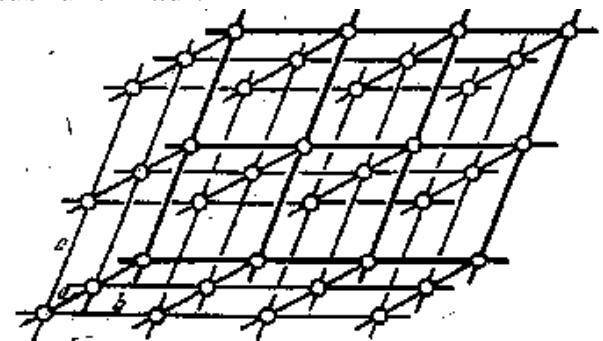
31-rasm.

Kristallarda ularni tashkil qilgan atomlar va boshqa zarralar yuqorida aytganimizdek, muntazam joylashadi. Atomlarning kristallarda bunday joylashishining muhim natijalaridan biri kristall xossalaring turli yo`nalishlarda birday bo`lmasligidir, bu xossa kristalning *anizotropiyasi* deb ataladi.

Atomlar muntazam joylashganda ular turli yo`nalishda turli zichlikda joylashadi. Bu 31-rasmdan yaqqol ko`rinib turibdi, bu rasmda atomlarning muntazam joylashishining mumkin bo`lgan sxemalaridan biri ko`rsatilgan. Bu yerda faqat atomlarning chizma tekisligidan tashqarida ham xuddi shunday joylashishini va *fazoviy panjara* hosil qilishini ko`z oldimizga keltirishimiz kerak, bu panjaraning *tugunlarida* atomlar joylashgan bo`ladi. Agar panjaraning tugunlari orqali turli yo`nalishlarda tekisliklar o`tkazsak (bizning rasmda to`g`ri chiziqlar o`tkazilgan), u holda bu tekisliklarda atomlar turli quyuqlikda joylashadi. Kristalda, demak, atomlar turlicha «band» etgan tekisliklar bo`ladi. Kristallningeng xarakterli xossasi — kristallarning anizotropiyasi asosan shu bilan tushuntiriladi.



32-rasm.



33-rasm

**Kristall panjara geometriyasi.** Ko`rsatib o`tganimizdek, kristallning xarakterli xususiyati uni tashkil qilgan zarralar (atomlar, molekulalar, yonlar)ning geometrik muntazam joylashishidir. Kristall, demak, uzlukli davriy strukturaga ega bo`ladi. Geometriya nuqtai nazaridan zerralarning bunday davriy takrorlanuvchi joylashishini *translyatsiya* deb atalgan parallel siljitish operatsiyasi yordamida amalga oshirilishi mumkin.

**a** translyatsiya yordamida biz, nuqtalar qatorini, yoki nuqtalarning bir o`lchamli zanjirini hosil qilamiz. **a** translyatsiya ma`lum yo`nalishga va **a** ga teng bo`lgan son qiymatiga ega bo`lgan vektor bilan ifodalanishi ham mumkin, bu **a** qiymatni *translyatsiya davri* deb ataladi.

Translyatsiya vektori **a** yordamida cheksiz ko`p sonli parallel siljitishlar —  $2\mathbf{a}$ ,  $Z\mathbf{a}$  va hokazo siljitishlarni, umumiyligi holda  $t\mathbf{a}$  translyatsiyani amalga oshirish mumkin, ulardan eng kichigi **a** bo`ladi.

Agar  $p_0$  nuqtani bir vaqtida **a** va **b** ikki translyatsiya amali bo`yicha siljitsak, u holda endi nuqtalar qatori emas, yassi to`r hosil bo`ladi (32-rasm). Bu to`rdagi har bir nuqtaning vaziyati quyidagi vektor yig`indi

$$ta + pb$$

bilan aniqlanadi, bu yerda  $t$  va  $n$  — nolni ham o`z ichiga olgan butun sonlar.

Agar, nihoyat,  $r_0$  nuqta bilan bir vaqtida uch turli translyatsiya  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  va  $s$  operatsiyasi bajarilsa, u holda *fazoviy panjara* hosil bo`ladi. Har qanday nuqtaning o`rni bu holda

$$ta + pb + pc$$

siljishlarning tegishli kombinatsiyasi bilan aniqlanadi.  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  va  $s$  uchta vektorning kombinatsiyasi translyatsiya gruppasi deb ataladi.

$\mathbf{a}, \mathbf{b}$  va  $s$  vektorlardan hosil bo`lgan parallelipiped *elementar yacheyska* deb ataladi (33-rasm).

Fazoviy panjaraning ixtiyoriy uch nuqtasi orqali o`tgan tekislikda nuqtalar (zarralar) yassi to`r hosil qilgan holda to`g`ri tartibda joylashgan. Ular biz ilgari eslatib o`tgan kristall tekisliklarini hosil qiladi. Ulardan ba`zilari (eng quyuq «band etilgan»lari) jipslashish tekisliklari bo`ladi.

Translyatsiya vektorlari  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  va  $s$  kristall panjaradagi atomlararo masofalardir. Ularning son qiymatlari odatda  $10^{-8}$  sm tartibida bo`ladi.

**Simmetriya sinflari.** Simmetriyaning. biz sanab o`tgan elementlari turli kristallarda turlicha kombinatsiyada uchrashi mumkin. Boshqacha aytganda, turli kristallar bir necha simmetriya elementlariga ega bo`lishi mumkin. Ravshanki, jismning simmetriya elementlari qancha ko`p bo`lsa, bu jism shuncha ko`p simmetriklikka ega bo`ladi. SHarning simmetriya o`qlari, simmetriya tekisliklari va simmetriya markazi cheksiz sonda bo`lgani uchun u eng simmetrik figuradir.

Batafsil tekshirishlarda (buni A.V.Gadolin 1867 yilda o`tkazgan) hammasi bo`lib simmetriya elementlarining 32 kombinatsiyasi bor ekanligi ma`lum bo`ldi.. Simmetriya elementlarining mumkin bo`lgan har bir shunday kombinatsiyasi *simmetriya sinfi* deb ataladi.

Tabiatda 32 simmetriya sinfining biriga tegishli bo`lgan kristallar mavjud bo`lishi mumkin, bu narsa. tajribada tasdiqlangan. Masalan, birgina simmetriya o`qiga ega bo`lgan kristallar besh (32 dan) simmetriya sinfini tashkil qiladi, ular bu o`qlarning besh tartibiga, jumladan simmetriya mutlaqo bo`lmaydigan birinchi tartibli o`kda ham mos keladi. Kristallarning to`rt sinfi yuqorida ko`rsatilgan simmetriya o`qidan tashqari yana unga perpendikulyar bo`lgan ikkinchi tartibli o`qqa ham.ega.

Faqat simmetriya markazigagina zga bo`lgan kristallar alohida simmetriya sinfini tashkil qiladi va hokazo.

Kristallografiyada biz aytgan 32 simmetriya sinfini 7 *simmetriya sistemasiga* (yoki *singoniyaga*) ajratib o`rganiladi va ular simmetriya tartibining ortib borishiga .qarab quyidagicha ataladi:

ikki simmetriya sinfini birlashtiruvchi triklin sistema;

uch sinfni o`z ichiga olgan monoklin sistema;

uch sinfni o`z ichiga olgan rombik sistema;

etti sinfni birlashtiruvchi trigonal sistema;

besh sinfni birlashtiruvchi geksogonal sistema;

etti sinfni o`z ichiga olgan tetragonal sistema;

eng simmetrik bo`lgan va besh sinfni birlashtirgan kubik sistema..

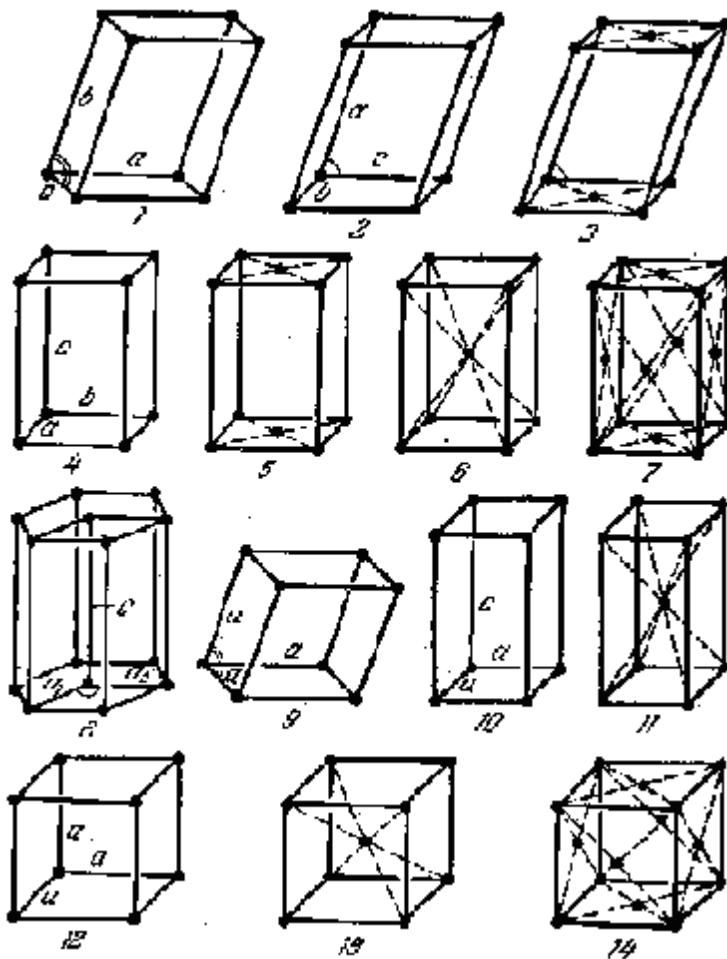
**Brave panjarasi.** Faqat *parallel ko`chirish* (translyatsiya) yo`li bilan bir-biriga ustma-ust tushirish mumkin bo`lan ekvivalent tugunlar to`plami kristallning *translyatsiya panjarasi* yoki *Brave panjarasi* deb atalgan panjarani hosil qiladi.

Binobarin, Brave panjarasi panjara tugunlaridan qandaydir bittasini uchala yo`nalish bo`yicha parallel ko`chirish yo`li bilan yasalgan parallelepipeddan iboratdir.

Atomlar faqat yoqlarning uchlarida joylashgan holda Brave panjarasi *yoqlari markazlashgan* deb, yoqlarning markazida va diagonal tekislikning markazida joylashgan holda esa *hajmiy markazlashgan* panjara deb ataladi.

Brave panjarasi qirralarining uzunligi  $a$ ,  $b$ ,  $s$  va ular orasidagi burchaklarning nisbatlari turlicha bo`lishi mumkin. Bu holda necha xil Brave panjarasi bo`lishi mumkin, degan savol tug`iladi.

Hammasi bo`lib 14 xil Brave panjaralari bor ekanligini ko`rsatish mumkin. Bu elementar parallelepipedlar yasaladigan koordinata o`qlari sifatida kristallning kristallografik o`qlari tanlangani uchun Brave panjaralaridan har biri biz yuqorida ko`rsatib o`tgan etti kristall sistemaning biriga tegishli bo`ladi deyish mumkin. 34-rasmda Brave panjaralarining barcha 14 elementar parallelepipedi ular simmetriyasining ortib borish tartibida ko`rsatilgan. Birinchi o`rinda eng kam simmetrik triklin panjara 1 ko`rsatilgan, bu panjarada tugunlar qirralarining uzunligi ixtiyoriy  $a \neq b \neq c$  va ular orasidagi burchaklar ixtiyoriy  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$  bo`lgan parallelepiped uchlarida joylashgan. So`ngra oddiy monoklin 2, yoqlari markazlashgan monoklin 3, oddiy rombik 4, asosi markazlashgan rombik 5, hajmiy markazlashgan rombik 6, yoqlari markazlashgan rombik 7 panjaralar ko`rsatilgan.



34-rasm.

Geksagonal panjara 8 da tugunlar muntazam olti yoqli prizmalarning uchlari va ularning oltiburchakli asoslari markazlarida joylashgan. Undan keyin romboedrik 9 Brave panjarasi joylashadi, uning elementar parallelepipedi fazoviy diagonal bo`yicha cho`zilgan yoki siqilgan kub (romboedr) ko`rinishida; so`ngra tetrogonal oddiy 10, hajmi markazlashgan tetragonal 11 panjaralar ko`rsatilgan.

Maksimal simmetriya — kubik simmetriyaga ega bo`lgan sistemalarga uch turdag'i Brave panjarasi: oddiy kubik 12, hajmiy markazlashgan 13 va yoqlari markazlashgan 14 panjaralar kiradi.

**Fazoviy gruppalar.** Kristall panjara ega bo`lgan *barcha* simmetriya elementlari majmui bu panjaraning *fazoviy gruppasi* deb ataladi.

Kristall panjaraning fazoviy gruppasini aniqlash uchun uning (kristall panjaraning) Brave panjarasini va burish hamda akslantirish bilan bog`liq bo`lgan simmetriya elementlarini, ya`ni simmetriya tekisliklari va o`qlarining joylashishini aniqlash kerak. Har qanday fazoviy gruppasi 32 kristall sinfining biriga tegishli bo`lishi mumkin.

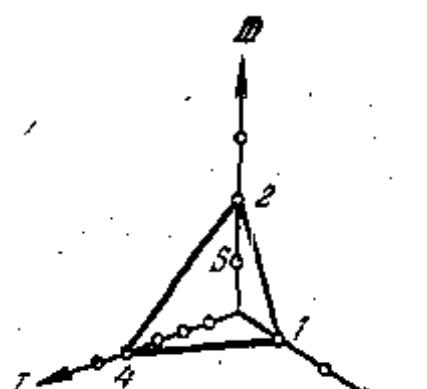
Batafsil tekshirish ana shu kristall sinflarga taqsimlanadigan hammasi bo`lib 230 xil fazoviy gruppalar mavjud ekanini ko`rsatadi. Bu 230 fazoviy gruppalar birinchi marta mashhur kristallograf E. S. Fedorov tomonidan aniqlangan.

**Kristalldagi tekisliklar va yo`nalishlarning simvolik belgilanishi.** Kristallning anizotropiyasi kristalldagi turli tekisliklar (yoqlar) va yo`nalishlarni (masalan, qirralarni) farqlash va ularni ma`lum tarzda belgilash zaruratini tug`diradi. Buning uchun maxsus koordinatalar sistemasiidan foydalaniлади, bu sistema kristall bilan shunday bog`langanki, koordinata o`qlari odatda simmetriya o`qlariga parallel yoki simmetriya tekisliklariga perpendikulyar bo`ladi, koordinata boshi esa panjara tugunlarining biri bilan ustma-ust tushadi. Bunday sistemada koordinatalar shu yo`nalishdagi atomlararo masofalarga teng birliklarda o`lchanadi (bu masofalar panjara doimiyлari yoki *panjara parametrlari* deb ataladi). Biror tekislikning vaziyati bu tekislikning ixtiyoriy uch nuqtasi, masalan, tekislikning uchala koordinata o`qlari bilan kesishadigan nuqtalari orqali bir qiyamatli aniqlanadi.

I, II, III lar koordinata o`qlari bo`lsin va S tekislikni aniqlash kerak deylik (35-rasm). Agar, masalan, tekislik I o`jni 4 birlikka teng masofada (ya`ni I o`q yo`nalishida to`rt atomlararo masofada), II o`jni 1 birlikka va III o`jni 2 birlikka teng masofada kessa, u holda tekislikning vaziyati uchta son: 4, 1, 2 bilan beriladi.

Biroq kristalldagi tekisliklarni bu sonlar bilan emas, maxsus *Miller indekslari* bilan belgilash qabul qilingan, bu indekslar shunday topiladi: tekislikning koordinata o`qlari bilan kesishadigan uchta nuqtasining koordinatalari aniqlanadi (panjara doimiyлari birliklarida). Olingan sonlarning teskari qiymatlarini bitta maxrajga keltiramiz va maxrajini tashlab yuboramiz. Kasrning suratlari Miller indekslarini beradi. Masalan, koordinata o`qlarini 5, 1, 2 nuqtalarda kesib o`tuvchi biz yuqorida aytib o`tgai tekislik uchun koordinatalarning teskari qiymatlarini mos ravishda  $1/4$ , 1 va  $1/2$  bo`ladi, bu kasrlarning umumiyy maxraji 4 ga teng va shunday qilib Miller indekslari 1,4 va 2 ga teng bo`ladi. Bu sonlar kichik qavslarda beriladi, demak, bizni

qiziqtirayotgan tekislik simvolik ravishda (142) bilan belgilanadi (bu son «bir yuz qirq ikki», deb emas, «bir, to`rt, ikki» deb o`qiladi). Indekslarning bu to`plami bitta tekislikni emas, balki barcha parallel tekisliklar oilasini bildiradi.



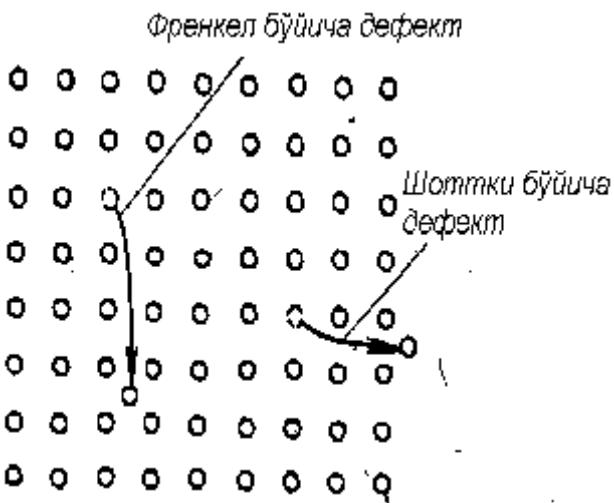
35-rasm.

Miller indekslari  $h, k, l$  harflari orqali belgilanadi. Agar tekislik koordinata o`qlaridan biriga parallel bo`lsa, ya`ni uni cheksizlikda kesib o`tsa, u holda bu koordinataga tegishli indeks nolga teng bo`ladi.

### **Kristallardagi nuqsonlar (defektlar)**

Real kristallarda biz yuqorida aytib o`tganimizdek atomlarning joylashishidagi qat`iy davriylik va buzilmaydigan tartibni kuzatish mumkin emas. Turli-tuman eksperimentlarning ko`rsatishiga qaraganda, kristallarda odatda atomlarning joylashishidagi muntazamlik ma`lum darajada buzilar ekan.

Temperatura o`zgarishi bilan panjara davriyligining buzi-lishi ham o`zgaradi.



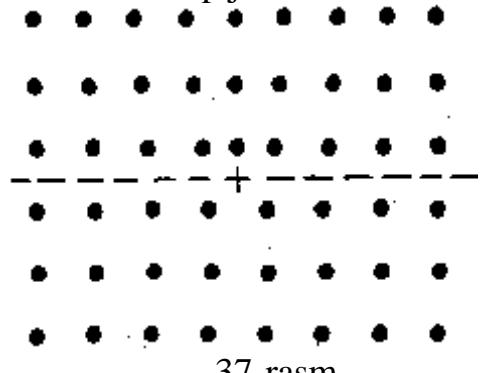
36-rasm.

panjara tugunidagi o`z joyini qoldiryb, «tugunlararo» biror joyda, ya`ni panjarada «qonuniy» ravishda o`z o`rinlarini egallab turgan atom-lar orasida joylashadi. Bunda go`yo ikki nuqson (Frenkel' jufti) paydo bo`ladi, chunki bo`shtu tugun va tugunlar orasidagi atom panjaraning muntazamligini teng ravishda buzadi.

36-rasmda bu aytilgan ikki tur nuqsonlarning sxemasi ko`rsatilgan.

Biz bayon qilgan bu nuqsonlar, ya`ni vakansiyalar va tugunlar orasiga joylashgan *nuqtaviy* nuqsonlar deb ataladi.

Kristaldagi nuqsonlarning uchinchi turi shundan iboratki, bunda panjaradagi ba`zi joylar asosiy modda oz miqdordagi aralashmani tashkil qiluvchi begona atomlar tomonidan band qilinadi. Bunday tur nuqsonlar ba`zida kristallarning xossalariiga juda kuchli ta`cir ko`rsatadi. Bu ayniqsa yarim o`tkazgichlarga taalluqlidir, ularning xossalari ko`p jihatdan xuddi shunday aralashma nuqsonlariga bog`liq bo`ladi.



37-rasm.

Kristalldagi nuqsonlarning eng muhim turi *dislokatsiyalardir*. Bu tur nuqsonlarning xarakteri 37-rasmdagi sxemadan ko`rinib turibdi. Bu nuqson shundan iboratki, kristallning bir qismida (rasmdagi gorizontal punktir chiziqning yuqori qismida) boshqa qismidagidan bitta atom tekisligi ko`p paydo bo`ladi. «Ortiqcha» atom tekisligi, albatta, panjaraning buzilishiga sabab bo`ladi, shu bilan birga 37-rasmdan ko`rinib turganidek, kristallning ana shu qo`shimcha tekislikka bevosita kelib taqalgan qismlarida ko`proq buzilish bo`ladi. Bu joydan

Nuqsonlarning birinchi turi SHottki nuqsonlari deb atalib, ularning mohiyati shundan iboratki, panjaraning atomlar joylashishi kerak bo`lgan qandaydir tugunlari atomlar tomonidan band qilinmay qoladi. Tabiiyki, bunday «vakansiya»lar (panjara tugunida atomning yo`qligi) qo`shni atomlarning ularning normal vaziyatiga nisbatan siljishiga sabab bo`ladi va bu vakansiya atrofida panjara tuzilishining muntazamligini buzadi.

Frenkel nuqsonlari deb ataluvchi ikkinchi tur nuqsonlar biror zarra

Agar kristall biror ma`lum ximiyaviy formulaga muvofiq keluvchi ximiyaviy birikmaga tegishli moddadan olingan bo`lsa, u holda bu birikma tarqibidagi komponentalarning kamligi yoki biror darajada ko`pligi bilan bog`liq bo`lgan nuqsonlar hosil bo`lishi mumkin. Bu holda nuqsonlar turli xaraktyerde bo`lishi mumkin: ortiqcha atomlar, masalan, tugunlar orasida joylashishi, o`zini aralashma atomlari singari tutishi mumkin va hokazo.

uzoqlashgan sari buzilishlar tobora kamayib boradi, kristall muntazamligining kuchli buzilish sohasi odatda bir necha atomlararo masofadan ortiq bo`lmaydi. Nuhsonlarning vintli dislokatsiya deb ataluvchi boshqa turi ham mavjud, biz bu turni bu yerda bayon qilmaymiz. Biroq shu narsani qayd qilib o`tamizki, kristallarda dislokatsiyalar muhim rol' o`ynaydi, ayniqsa kristallarning deformatsiyasi bilan bog`liq bo`lgan hodisalarda ularning bo`lishi kristallarning mustahkamligini susaytiradi. Dislokatsiyalarining paydo bo`lishi kristallarning o`sishiga ham kuchli ta`sir qiladi, umuman aytganda, kristallarning o`sishini osonlashtiradi, Kristallarda dislokatsiyalarining soni ancha ko`p, yaxshi tabiiy kristallarda ularning qiymati  $1 \text{ sm}^3$  da  $10^8$  ga etadi. Dislokatsiyalar, albatta, nuqtaviy nuqsonlar emas, *chiziqli nuksolaridir*, bu yerda atomlarning joylashish muntazamligi *chiziq* bo`ylab «ortiqcha» atom tekisligining chekkalari bo`ylab buziladi.

Nihoyat, kristallarda ba`zida uchraydigan g`ovaklar va yoriq-lar ko`rinishidagi hajmiy (uch o`lchamli) nuqsonlar ham bo`ladi.

### Metallarda diffuziya

Bir-biriga tegib turgan ikki yoki bir necha moddaning bir-birining ichiga singib o`tish hodisasi diffuziya deb ataladi.

Biror komponentaning kontsentratsiyalar farqi ta`sirida siljishi bu komponentaning *diffuzion oqimi* deb ataladi.

Diffuziya oqimini massa birliklarida ifodalash mumkin. U SI sistema  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sek}$  larda, SGS sistemada  $\text{g}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$  larda o`lchanadi. Uni, shuningdek, mollar soni ( $\text{mol}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ) yoki molekulalar soni ( $\text{molekula}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ) va hokazoda ifodalash mumkin. Ma`lum komponentaning kontsentratsiyasini ham  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{g}/\text{sm}^3$ ,  $\text{mol}/\text{sm}^3$  va hokazolarda ifodalash mumkin.

Protsessda qatnashayotgan sistemaning parametrlari vaqt o`tishi bilan o`zgarib turadigan har qanday protsess *nostatsionar* protsess deb ataladi va bu protsess sistemani xarakterlovchi kattaliklar vaqt o`tishi bilan o`zgarmaydigan *statsionar* protsessdan farq qiladi. Kontsentratsiyalarining tenglashishiga olib keluvchi, ya`ni kontsentratsiyalar farqining o`zgarishiga va komponentalarning o`zining kontsentratsiyasini o`zgarishiga olib keluvchi diffuziya *nostatsionar diffuziya* deb ataladi.

**Diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni).** Tajriba biror komponentaning diffuzion oqimi shu komponenta kontsentratsiyasi gradientining teskari ishorasi bilan olingan qiymatiga teng ekanini ko`rsatadi (Fik qonuni).

Koordinatalarga bog`liq bo`lgan biror  $G$  (skalyar) kattalikning gradienti deb bu kattalikning fazoda o`zgarish tezligini xarakterlovchi vektorga aytishini eslatib o`tamiz. Bu vektor  $G$  kattalikning eng tez o`sadigan yo`nalishi tomonga yo`nalgan va son jihatidan shu o`sish jadalligiga teng.

Kelgusida bizni qandaydir bir yo`nalish, masalan,  $X$  o`q bo`ylab o`zgaradigan kattaliklar qiziqtiradi. Bu holda  $G$  gradientning (belgisi:  $\text{grad } G$ ) son qiymati  $x$  o`zgarishi bilan  $G$  kattalikning o`zgarish tezligiga, ya`ni  $\frac{\partial G}{\partial x}$  hosilaga teng biz  $G$

kattalikning faqat  $X$  o`q bo`ylab o`zgaradi deb olganimiz uchun  $\frac{\partial G}{\partial x}$  xususiy hosila o`rniga  $\frac{\partial G}{\partial x}$  to`la hosilani yozish mumkin. SHunday qilib,

$$\text{grad } G = \frac{\partial G}{\partial x},$$

ya`ni  $G$  kattalikning uzunlik birligidagi o`zgarishiga teng.

Agar gaz aralashmasining bizni qiziqtirgan  $q$  komponentning kontsentratsiyasi  $X$  o`q bo`ylab o`zgarsa (boshqa yo`nalishlar bo`ylab o`zgarmay qolgani holda), u holda  $q$  kontsentratsiyaning gradienti deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$\text{grad } q = \frac{dq}{dx}.$$

Binobarin, diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni) shunday ifodalanadi:

$$I = -D \frac{dq}{dx}, \quad (104)$$

bu yerda  $I$  – bizni qiziqtirgan komponentaning  $X$  o`q yo`nalishdagi diffuzion oqim. (104) ning o`ng qismidagi minus ishorasi diffuzion oqimning kontsentratsiya kamayish tomonga qarab yo`nalganligini bildiradi. (104) tenglamadagi  $D$  koeffitsient *diffuziya koeffitsienti* deb ataladi. Uning ma`nosи shuki, u kontsentratsiya gradienti 1 ga teng bo`lgandagi diffuzion oqimning son qiymatiga teng.

Diffuziya koeffitsientining SI sistemada  $\text{m}^2/\text{sek}$  yoki SGS sistemada  $\text{sm}^2/\text{sek}$  birliklarda o`lchanishi ravshan. Haqiqatan ham, diffuzion oqim  $I$  –  $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ sek}$  birliklarida yoki  $\text{g}/\text{sm}^2 \text{ sek}$  birliklarida o`lchanadi; kontsentratsiya  $q$  –  $\text{kg}/\text{m}^3$  yoki  $\text{g}/\text{sm}^3$  larda kontsentratsiya gradienti  $\frac{dq}{dx}$  esa  $\text{kg}/\text{m}^4$  yoki  $\text{g}/\text{sm}^4$  larda o`lchanadi.

Bundan  $D = \frac{1}{dq/dx}$  ning  $\text{m}^2/\text{sek}$  yoki  $\text{sm}^2/\text{sek}$  larda o`lchanishi kelib chiqadi.

(104) tenglamada, albatta, tenglikni har ikki qismidagi modda miqdorini birday birliklarda ifodalash kerak. Bu degan so`z, agar diffuziylanuvchi komponenta oqimini uning 1  $\text{sm}^2$  yuzdan vaqt birligi ichida o`tuvchi  $M$  massasi (grammlar soni) bilan ifodallasak, u holda  $q$  kontsentratsiya shu komponentaning 1  $\text{sm}^3$  aralashmadagi grammlari soni bilan ifodalanishi kerak; bu holda  $q$  kontsentratsiya komponentaning partsial zichligidan iborat bo`ladi,  $q = \rho$ . Bu holda (104) tenglama shunday ko`rinishga keladi:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx}. \quad (105)$$

Agar diffuziylanuvchi komponenta oqimini massa bilan emas, 1 sek da 1  $\text{sm}^2$  yuzdan o`tuvchi zarralar soni  $N$  bilan ifodallasak, u holda kontsentratsiya 1  $\text{sm}^3$  dagi molekulalar soni bilan ifodalanadi va (104) tenglama quyidagi ko`rinishda yoziladi:

$$N = -D \frac{dn}{dx}. \quad (106)$$

Diffuziya koeffitsienti diffuziyalanuvchi moddaning xossalari va aralashmani tashkil qilgan qolgan komponentalarning xossalariga bog`liq (bundan so`ng komponentalarni faqat ikkita deb hisoblaymiz). Biroq aralashma kontsentratsiyasi uncha katta bo`lmaganda aralashma kontsentratsiyaga juda zaif darajada bog`liq bo`ladi.

Statsionar diffuziyada kontsentratsiya gradienti o`zgarmay qoladi (vaqt o`tishi bilan o`zgarmaydi). shuning uchun diffuzion oqim ham o`zgarmaydi. nostatsionar diffuziyada kontsentratsiya gradienti o`zgaradi (kontsentratsiya tenglashadi). SHunga muvofiq holda vaqt o`tishi bilan diffuzion oqim ham o`zgaradi.

### **Qattiq jismlarning issiqlik xossalari**

**Qattiq jismlardagi issiqlik harakati.** Qattiq jismlarda zarralarning issiqlik harakatlari suyuqliklardagi va gazlardagi singari bo`lmasligini eslatib o`tgan edik. Qattiq jism zarralari bir-biri bilan atomlar orasidagi masofaga bog`liq bo`lgan o`zaro ta`sir kuchlari bilan bog`langan va ular kristall panjara tugunlaridagi qandaydir muvozanat vaziyati atrofida faqat tebranishlari mumkin. Modda etarlicha past temperaturalardagina, ya`ni issiqlik harakatlari energiyasi  $kT$  ning qiymati zarralarniig o`zaro ta`siri potentsial energiyalaridan ancha kichik bo`lgandagina qattiq holatda bo`lishi mumkin bo`lgani uchun, atomlarning muvozanat vaziyati yaqinida tebranishlari kichik tebranishlar bo`ladi. Bu tebranishlarning energiyasi qattiq jismning ichki energiyasidan iborat bo`lib, bu energiya uning temperurasini belgilaydi.

Absolyut nol temperaturada barcha atom harakatlari to`xtaydi.

**Qattiq jismlarning issiqlik sig`imi.** SHunday qilib, qattiq jism tebranuvchi zarralar — ostsillyatorlar to`plamidan iborat. Jismga issiqlik keltirilganda bu issiqlik ostsillyatorlarning tebranish energiyalarining ortishiga sarf bo`ladi, bu energiya kinetik va potentsial energiyalarning yig`indisidan iborat.

Gazlar kinetik nazariyasidan bilamizki, atomning o`qlardan biri bo`ylab o`rtacha kinetik energiyasi  $-\frac{1}{2}kT$  ga teng. Bu bir erkinlik darajasiga to`g`ri keladigan energiyadir. Biroq ostsillyatorning potentsial energiyasi kinetik energiyasiga teng bo`lgani uchun bir erkinlik darajasiga to`g`ri keladigan to`la energiya  $2 \times \frac{1}{2}kT = kT$  ga teng bo`ladi.

Har bir atom (ostsillyator) uch erkinlik darajasiga ega bo`lgani uchun va biz ideal gazlar nazariyasida qilganimiz singari, har bir erkinlik darajasiga ayni bir  $\frac{1}{2}kT$  kinetik energiya to`g`ri keladi deb qabul qilsak, u holda qattiq. jismning bir atomining to`la energiyasi  $3 \times 2 \times \frac{1}{2}kT = 3kT$  ga teng bo`ladi.

Agar jismda  $N$  ta atom bo`lsa, u holda jismning ichki energiyasi  $3NkT$  ga teng. SHunday qilib, bir molning ichki energiyasi  $3N_0kT = 3RT$  ga teng bo`ladi, bu yerda  $N_0$ —Avogadro soni. Hajm o`zgarmas bo`lganda issiqlik berilsa, bu issiqliknинг hammasi ichki energiyaning ortishiga sarf bo`ladi. SHuning uchun o`zgarmas hajmdagi atomning issiqlik sig`imi quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$C_v = \left( \frac{dU}{dT} \right)_v = 3R \approx 6 \text{ kal/K} \cdot \text{mol} \approx 25,12 \text{ J/K} \cdot \text{mol.} \quad (156)$$

Bu ideal gazning (bir atomli gazning) molyar issiqlik sig`imidan ikki marta katta. Demak, moddaning molyar issiqlik sig`imi ikki marta ortishi uchun uni gazsimon holatdan qattiq holatga o`tkazishning o`zi kifoya ekan. YUqorida aytilganlardan shu narsa ayon bo`ladiki, qattiq jismning qizdirilishida keltirilgan issiqlik. uning faqat kinetik energiyasining emas, balki potentsial energiyasining ham ortishiga sabab bo`lgani uchun issiqlik sig`imi ikki marta ortadi.

(156) formuladan qattiq jismlarning atom issiqlik sig`imi (ya`ni gramm-atomning issiqlik sig`imi) barcha moddalar uchun birday bo`lgan va temperaturaga bog`liq bo`lmagan kattalikdir. Bunday ta`rif *Dyulong va Pti qonuni* deb ataladi.

Tajriba oddiy temperaturalarda ko`pchilik qattiq jismlarning (ximiyaviy elementlarning) atom issiqlik sig`imlari haqiqatan ham 6 kal/K · mol qiymatga yaqin va temperaturaga deyarli bog`liq bo`lmasligini ko`rsatadi. Biroq bundan mustasnolik ham mavjud. To`rt ximiyaviy element — berilliy, bor, kremniy va olmosning issiqlik sig`imi odatdagи temperaturalarda  $3R$  dan ancha kichik va temperaturaga sezilarli bog`liq bo`ladi. Temperatura ortishi bilan bu moddalarning issiqlik sig`imi orta boradi va har holda  $3R$  qiymatga intiladi.

Bu Dyulong va Pti qonunidan yagona chetlashish emas. Past (xona temperurasidan ancha past) temperaturalarda barcha moddalarning, jumladan, odatdagи temperaturalarda Dyulong va Pti qonuniga bo`ysunadigan moddalarning ham, issiqlik sig`imlari tez kamayadi va absolyut nolga intiladi. 194-rasmda kumush uchun  $S_r$  issiqlik sig`imining (odatda shu issiqlik sig`imigina tajribalarda aniqlanadi) temperaturaga bog`lanish eksperimental egri chizig`i ko`rsatilgan.

Ko`p sonli tajribalar barcha qattiq jismlar uchun Dyulong va Pti qonuniga bo`ysunish emas, bu qonundan chetlashish qonuniyati mavjud ekanligini ko`rsatdi.

### **Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi**

Qattiq jismlar qiziganda o`z hajmini orttirishi hammaga ma`lum. Bu — *issiqlikdan kengayishdir*. Isiganda jism hajmining ortishiga olib keluvchi sabablarni ko`raylik. Ravshanki, atomlar orasidagi o`rtacha masofa kattalashganda kristallning hajmi ortadi. Binobarin, temperatura ko`tarilganida kristall atomlari orasidagi o`rtacha masofa ortar ekan, isiganda atomlar orasidagi masofaning ortishiga sabab nimaq Kristall temperurasining ko`tarilishi issiqlik harakati energiyasi, ya`ni panjarada atomlarning issiqlik tebranishlari energiyasining ortishi va binobarin, bu tebranishlar amplitudasining kattalashishi demakdir.

Biroq atomlar tebranishlari amplitudasining kattalashishi hamma vaqt ham atomlar orasidagi o`rtacha masofaning ortishiga olib kelmaydi.

Agar atomlarning tebranishlari. qat`iy garmonik bo`lganida edi, har bir atom o`zining qo`shnilarining biridan qancha uzoqlashsa, boshqasiga shunchalik yaqinlashar va atom tebranishlari amplitudasining ortishi atomlararo o`rtacha masofaning kattalashishiga va demak, issiqlikdan kengayishga olib kelmas edi.

Aslida atomlar kristall panjarada *angarmonik* (nogarmonik) tebranadi. Bu tebranishlar atomlararo o`zaro ta`sir kuchlarining atomlar orasidagi masofaga bog`lanishi xarakteriga bog`liqdir.

Miqdoriy jihatdan issiqlikdan kengayishi chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsientlari bilan xarakterlanadi, bu koeffitsientlar quyidagicha aniqlanadi. Masalan,  $l$  uzunlikdagи jism temperatura  $\Delta T$  gradusga o`zgarganida o`z uzunligini  $\Delta l$  ga o`zgartirsin. Chiziqli kengayish koeffitsienti quyidagi

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T}$$

munosabatdan aniqlanadi, ya`ni chiziqli kengayish koeffitsienti temperatura bir gradusga o`zgarganida uzunlikning nisbiy o`zgarishiga teng. Xuddi shuningdek, hajmiy kengayish koeffitsienti  $\beta$  quyidagi  $\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T}$  formuladan aniqlanadi, ya`ni  $\beta$  koeffitsient temperatura bir gradusga o`zgarganida hajmning  $\frac{\Delta V}{V}$  nisbiy o`zgarishiga teng.

Bu formulalardan kelib chiqadiki, boshlang`ich temperaturadan  $\Delta T$  gradusga farq qiluvchi biror temperaturadagi  $l_T$  uzunlik va  $V_T$  hajm (kichik temperaturalarda) quyidagi

$$l_T = l_0(1 + \alpha \Delta T) \quad \text{va} \quad V_T = V_0(1 + \beta \Delta T)$$

formulalar bilan aniqlanadi, bu yerda  $l_0$  va  $V_0$ —jismning boshlang`ich uzunligi va hajmi.

Kristallarning anizotropiyasi tufayli chiziqli kengayish koeffitsienti  $\alpha$  turli yo`nalishlarda turlicha bo`lishi mumkin. Bu degan so`z, agar mazkur kristalldan shar yasalsa, u holda qizitilgandan so`ng shar o`zining sferik shaklini yo`qotadi. eng umumiy holda bunday sharning isishi natijasida *uch o`qli ellipsoidga* aylanishini ko`rsatish mumkin, bu o`qlar kristallning kristallografik o`qlari bilan bog`langan bo`ladi. Bu ellipsoidning uchala o`qi bo`ylab issiqlik kengayish koeffitsientlari kristallning issiqlikdan *kengayish bosh koeffitsientlari* deb ataladi.

Agar ularni  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  va  $\alpha_3$  bilan belgilasak, u holda kristallning hajmiy kengayish koeffitsienti

$$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

ga teng bo`ladi. Kubik simmetriyaga ega bo`lgan kristallar uchun, shuningdek, izotrop jismlar uchun ham

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha \quad \text{va} \quad \beta = 3\alpha.$$

Bunday jismlardan yasalgan shar (albatta, katta diametrli) isitilgandan so`ng ham sharligicha qoladi.

Ba`zi kristallarda (masalan, geksagonal kristallarda)

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad \text{va} \quad \beta = 2\alpha_1 + \alpha_1$$

bo`ladi.

Agar chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsientlari o`lchanayotgan temperaturalar intervali kichik, temperaturalarning o`zlari esa yuqori bo`lsa, u holda koeffitsientlar amalda o`zgarmay qoladi. Umuman, issiqlikdan kengayish koeffitsientlari temperaturaga bog`liq, shu bilan birga, ular temperaturaga issiqlik sig`imi singari bog`liq bo`ladi, ya`ni past temperaturalarda  $\alpha$  va  $\beta$  koeffitsientlar temperaturaning kubiga proportsional ravishda kamayadi va issiqlik sig`imi singari, absolyut nolda nolga intiladi. Buning ajablanarli joyi yo`q, chunki issiqlik sig`imi ham, issiqlikdan

kengayish ham panjaraning tebranishlari bilan bog`liq; issiqlik sig`imi atomlarning issiqlik tebranishlari o`rtacha energiyasining ortishi uchun zarur bo`lgan issiqlik miqdorini beradi, bu tebranishlar amplitudasiga bog`liqdir; issiqlikdan kengayish koeffitsienti esa atomlararo o`rtacha masofaga bevosita aloqador, bu ham atom tebranishlari amplitudasiga bog`liqdir.

Bundan Gryuneyzen kashf qilgan muhim qonun kelib chiqadi: *issiqlikdan kengayish koeffitsientining. qattiq jism atom issiqlik sig`imiga nisbati shu modda uchun o`zgarmas (ya`ni temperaturaga bog`liq bo`lmagan) kattalikdir.*

Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsientlari odatda juda kichik bo`ladi, bu 7-jadvaldan ko`rinib turibdi. Bu jadvalda keltirilgan  $\alpha$  koeffitsientning qiymatlari temperaturalarning 0 va  $100^{\circ}\text{S}$  orasidagi intervaliga tegishlidir.

7-jadval

### **Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsientlari**

Modda	$\alpha$	Modda	$\alpha$
Alyuminiy	$26 \cdot 10^{-6}$	Jez	$19 \cdot 10^{-6}$
Kumush	$19 \cdot 10^{-6}$	Dyuralyuminiy	$22,6 \cdot 10^{-6}$
Kremniy	$7 \cdot 10^{-6}$	Molibden	$5 \cdot 10^{-6}$
Temir	$12 \cdot 10^{-6}$	Fosfor	$124 \cdot 10^{-6}$
Volfram	$4 \cdot 10^{-6}$	Mis	$17 \cdot 10^{-6}$
Natriy	$8 \cdot 10^{-6}$	Rux	$28 \cdot 10^{-6}$

Ba`zi moddalarning hajmiy kengayish koeffitsienti, ayniqsa kichik bo`ladi. Masalan, kvarts shunday xossasi bilan ajralib turadi ( $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6}$ ). Yana boshqa misol sifatida nikel' va temirning qotishmasini (36% Ni) keltirish mumkin, bu qotishma invar deb ataladi, uning issiqlikdan kengayish koeffitsyenti  $\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$  ga teng. Bu moddalar aniq asboblar ishlab chiqarish sanoatida keng qo`llaniladi.

### **Asosiy adabiyotlar**

1. Kikoin A.K, Kikoin I.K Umumi fizika kursi. Moekulyar fizika, O`qituvchi, Toshkent-2004. 2. Jearl Walker, David Hallidey., R.Resnick. Fundamentals of physics. ISBN 978-8808-08797-3. 2014.
3. JEARL WALKER .FUNDAMENTALS OF PHYSICS, 2007,CERN
4. Douglas C. Giancoli. Physics principles with applications. 2014
5. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi Termodinamika va molekulyar fizika. O`qituvchi . Toshkent-1984,526-bet
6. CHertov A.A., Vorobyev A. Umumi fizika kursidan masalalar to`plami. Toshkent. O`qituvchi, 1988 y
7. Sedrik M.S. Umumi fizika kursidan masalalar to`plami. Toshkent, O`qituvchi..
8. Karabayeva M.A. Molekulyar fizika. T. Universitet-2014. 298 b

### **Qo'shimcha adabiyotlar**

1. O'zbekiston Respublikasi prezidentining 2017 yil 14 fevraldag'i 2017-2021

yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvroe yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasi

2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 17 iyundagi "2019-2023 yillarda Mirzo Uleg'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida teleb yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatini rivojlantirish chora taqbirlari to'g'risida" gi PQ-4358 sonli qarori.
3. SH.M.Mirziyoyev "Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash – yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi" Toshkent-«O'zbekiston» - 2017.48 bet.
4. SH.M.Mirziyoyev "Milliy tiklanishdan milliy tiklanishdan milliy yuklanish sari ". Toshkent - "Yoshlar nashriyot uyi"- 2019. 158 bet.
5. Abdullayev R.M., Xamidjonov I.X., Qarabayeva M.A, «Molekulyar fizika», Yniversitet, T- 2003, 121 bet.
6. Volkenshteyn S.B Umumiy fizikadan masalalar to'plami.
7. Vasilyeva O.N., Saleskiy A.M. Molekulyarnaya fizika I termodinamika. Sbornik zadach. Moskva. Fizicheskiy fakultet MGU im. M.V.Lomonosova. 2018 g.
8. Mironova G.A., Brandt N.N., Vasileyeva O.N., Saleskiy A.M. Molekulyarnaya fizika i termodinamika. Razrabitka seminarskiy zanyatiy. – M.: Fizicheskiy fakultet MGU, 2014.752c
9. Mironova G.A., Brandt N.N., Vasileyeva O.N., Saleskiy A.M. Molekulyarnaya fizika i termodinamika. Metodika resheniya zadach.- M.: Fizicheskiy fakultet MGU, 2016. 416 s.
10. Mironova G.A., Brandt N.N., Saleskiy A.M. Molekulyarnaya fizika v voprosax I zadachax. – Cpb.; Lan, 2012. 480s.
11. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Molekulyarnaya fizika-M.: Vissaya shkola, 1981. 400 s.
12. Aleshkevich V.A Kurs obshey fiziki. Алешкевич В.А. Курс общей физики. Molekulyarnaya fizika - M.: Fizmatlit, 2016. 312 s

### Axborot manbalari

1. Animatsion rolik (<http://www.upscale.utoronto.ca>. ва html,<http://tical ua.es>).
2. Fizika "Physicon". .
3. Fizikadan o'quv kinofilmlari.
4. Ko'rgazmali rangli rasmlar (<http://www.hord Wareanalysis com>.).
5. Phusics onlien".
6. [www.cultinfo./fulltext/l/008/077/561/htm](http://www.cultinfo./fulltext/l/008/077/561/htm)
7. [www.en/edu.ru](http://www.en/edu.ru). Portal

**AMALIY  
MASHG'ULOT**

## **Mollar miqdori. Molyar va nisbiy molekulyar massa, kontsentratsiya va molekulalar sonini hisoblash.**

- 8.1. 1) suvnning; 2 ) karbonat angidrid 3) osh tuzi. NaCl ning nisbiy molekulyar massasi aniqlansin.
- 8.2. Sulfat kislota  $H_2SO_4$  ning molyar massasi topilsin.
- 8.3. 1) karbonat angidrid; 2) osh tuzi molekulalarining massasi aniqlansin.
- 8.4. Sig'imi 2 l bo'lgan idishda modda miqdori 0,2 mol bo'lgan kislorod bor. Gazning zichligi aniqlansin.
- 8.5. Massasi 0,2 kg bo'lgan azotning modda miqdori va molekulalar soni aniqlansin.
- 8 .6 . Sig'imi 3 l bo'lgan idishda massasi 4 g bo'lgan kislorod bor. Gazning modda miqdori va molekulalar soni aniqlansin.
- 8.7. Kislorod normal sharoitda sig'imi 2 l bo'lgan idishni to'ldirib turibdi. Gazning modda miqdori va uning massasi aniqlansin.
- 8.8. Agar zichligi  $6,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  bo'lsa. Hajmi 1 l bo'lgan idishni to'ldirib turgan vodorodning modda miqdori aniqlansin.
- 8.9. Sig'imi 0 ,5l bo'lgan kolbada normal sharoitdagi gaz bor. Kolbadagi gaz molekulalarining soni aniqlansin.
- 8.10. 1 g massali: 1) geliy; 2) uglerod; 3) ftor; 4) poloniy gazlarning har birida nechtadan atom bor?
- 8.11. Sig'imi 5 l bo'lgan idishda modda miqdori 0,2 mol bo'lgan bir jinsli gaz bor. Agar gazning zichligi  $1,12 \text{ kg/m}^3$  bo'lsa, u qanday gaz ekanligi aniqlansin.
- 8.12. 1 0 g massali azotning uchdan bir qismi atomlarga parchalandi. Gazdagi barcha zarralarning soni aniqlansin.
- 8.13. Suyuqlik molekulalarini bir-biriga tegib turuvchisharchalar sifatida qarab, uglerod sulfid  $S_52$  molekulalari diametri kattaligining tartibi baholansin. Shu farazlarda simob atomi diametri kattaligining tartibi baholansin. Suyuqliklarning zichliklari ma'lum deb hisoblansin.

8.14. Normal sharoitda suv bug'lari molekulalarining markazlari orasidagi o'rtacha masofa aniqlansin va u molekulalarning o'zining diametri bilan solishtirilsin (0,311 nm).

8.15. Sig'imi<sub>1,12</sub> 1 bo'lgan idishda normal sharoitda azot bor. Muayyan haroratgacha qizdirilgan gaz molekulalarining bir qismi atomlarga ajraldi (dissotsnlandi). Dissotsilanish darajasi  $a = 0,3$ . 1) Azotning qizigungacha bo'lgan V; 2) qizigandan keyingi molekulyar azotning u M<sub>1i</sub>; 3) qizigandan keyingi atomlar azotning V ,; 4) qizigandan keyin butun azotning modda miqdori aniqlansin. Izots. Dissoilanii. llra.-k.;sn deb at-mlar:ch ajralgan molekulalar s o n i n i g gazning barcha molekulalariga nisbatiga aytildi. Ajralish darajasi molekulalarning qancha msmi atomlarga ajralganini ko'rsatadi.

Gaz %olati tenglamasi

8.16. Uzunligi 1,6 m bo'lgan, normal a • mosfera bosimi R<sub>0</sub> da havo bilan to'ldirilgan tsilindr ichiga yuzasi 200 sm<sup>2</sup> bo'lgan porshenni sekin krita boshladilar. Agar porshen silindr tubidan 10 sm masofada to'xtatilsa, unga ta'sir etuvchi kuch aniqlansin.

8.17. Sig'imi 300 sm<sup>3</sup> bo'lgan jumrakli tiqin bilan berkitilgan kolbada siyrakpashgan havo bor. Kolbadagi bosimni o'lchash uchun kolbannng bug'zini biroz suvga botirdilar va jumrakni ochdilar. Natijada kolbaga massasi 292 g ga teng suv kirdi. Agar atmosfera bosimi Y<sub>a</sub> = Y<sub>0</sub> 0 kPa bo'-lsa, kolbadagi dastlabki bosim aniqlansin.

8.18. TS snmon manometrga simob quyilgan. Manometrning ochiq tirsagi P<sub>0</sub> normal atmosfera bosimidagi atrof muhit bilan tutashtirilgan va ochiq tirsakdagisi simob sathi yopik tirsakdagisidan 10 sm yuqoriida turibdi. Bunda yopik tirsakning simobsiz qismining uzunligi 20 sm. Ochiq tirsakni havoli ballonga tutashtirganlarida simob satxlarining farqi ortdi 26 sm qiymatga yetishdi. Ballondagi havo bosimi r topilsin.

8.19. Ichki diametri 5 mm bo'lgan, 7 simon shisha trubka ko'rinishidagi manometr (8.1, a\* raem) simob bilan shunday to'ldirilganki, trubkaning yopik tirsagida kolgan

havo normal atmosfera bosimida  $10 \text{ mm}^3$  hajmni egallaydi. Mazkur xolda trubkaning har ikkala tirsagidagi satxlar farqi 10 sm. Trubkaning ochiq uchi katta idish bilan tutashtirilganda (8.1, b- raem) simob satxlarining farqi  $\text{DL2}=1 \text{ sm}$  gacha kamaydi. Idishdagi bosim r aniqlansin.

8.20. BaLlonda  $100^\circ\text{S}$  haroratli gaz bor. Gazning bosimi

ikki marta ortishi uchun uni qanday haroratgacha qizdirish

8.21. Ideal gaz o'zgarmas bosim ostida  $1 \text{ K}$  ga qizdi-

rilganda uiing hajmn dastlabki hajmnning  $1/350$  qismiga ortdi.

Gazning boshlang'ich harorati topilsin.

8.22.  $7^*=573 \text{ K}$  haroratli havo bilan to'ldirilgan, sig'imi  $10 \text{ sm}^3$  bo'lган g'ovak-sharni trubka yordamida simob bilan

to'ldiriyanan kosaga-tutashtirdilar. Ichidagi havoning harorati

$293 \text{ K}$  gacha soviganda sharga kiradigan simobning massasi

aniqlansin. Shar sig'imi n i n g o'zgarishi inobatga olinmasin.

8.23. Sig'imi  $800 \text{ m}^3$  bo'lган havo sharining qobiqi harorati

$273 \text{ K}$  bo'lган vodorod bilan to'ldirilgan. Harorat

$293 \text{ K}$  gacha oshirilganda sharning ko'tarish kuchi qanchaga

o'zgaradi? Qobiqnnng sig'imi o'zgarmas va tashqi bosim

normal deb hisoblansin. Qobiqning pastki qismida atrof

muhitga vodorod chiqishi mumkin bo'lган teshik mavjud.

8.24. SHar shaklidagi aerostat qobiqnning ichida qobiqni

qismangina to'ldiradigan  $1500 \text{ m}^3$  hajmli gaz bor. Agar

aerostatdagagi gaz  $273 \text{ K}$  dan  $293 \text{ K}$  gacha isitilsa,

aerostatning ko'tarish kuchi qanchaga o'zgaradi? Qobiqdagi gazning

va atrofdagi havoning bosimi o'zgarmas bo'lib, normal atmosfera

bosimiga teng.

8.25. Gaz harorat o'lchagichi shardan va unga payvandlangan

gorizontal shisha trubkadan iborat. Trubkada joylashtirilgan

simob tomchisi shar hajmini tashqi muhitdan ajratib turadi

(8.2-raem). Trubkaning ko'ndalang kesim yuzasi  $0,1 \text{ sm}^2$  273 K haroratda tomchi shar sirtidan 30 sm maeofada turadi, 278 K da esa 50 sm maeofada turadi. SHarning sig'imi toiilsin.

8.26. Suvli katta idishga tsilindr shaklidagi idish tuntarib kuyi;ian (8.3- raem). TSilindr shaklidagi idishning ichidagi va tashkarisidag i suv satxlari balandligi bir xil. Suv satxidan tuntarilgan idishning tubigacha bo'lган masofa 40 sm. Harorat 310 K dan 273 K gacha pasaysa, tsilindr shakldagi idishdagi suv qanday AL balandlikka ko'tariladi? Atmosfera bosimi normal.

8.27.12 1 sig'impl i ballonda karbonat angidrid !azi bor. Gazning bosimi 1 mPda, harorati 300 .K. Ballon.1agi gaz massasi aniqlansin.

8.28. Modda miqdori 1kmol bo'lган 1 mPa bosimdagi 400 K haroratli ideal gaz qanday hajmni egallaydi?

8.29.  $2 \text{ m}^3$  sig'impl i kozonda 500 K haroratli 1 0 kg massali uta qizdirilgan suv burlari bor. Kozondagi burning bosimi r aniqlansin.

8.30. Sig'imi 20 1 bo'lган ballonda 1,3 mPa bosim ostida 500 g massali karbonat angidrid bor. Gazning harorati aniqlansin.

8.31. Harorati 309 K va bosimi 0,7 mPa bo'lган gaz  $12 \text{ kg/m}^3$  zichlikka ega. Gazning nisbiy molekulyar massasi aniqlansin.

8.32. 300 K haroratda havodagi tuyingan suv buglarining zichligi r aniqlansin. I i ly haroratda tuyingan suv buriniig bosimi 3,55 kPa.

8.33. Havo sharining kobigi  $1600 \text{ m}^3$  sigimga ega. Qobiqni

to'ldiruvchi vodorodning bosimi 60 kPa va harorati 280 K bo'lган balandlikdagi ko'tarish kuchi topilsin. SHar ko'tarilayotganda vodorod sharning kuyi qismidagi teshikdan chiqishi mumkin.

8.34. Hajmi 25 l bo'lган ballonda 290 K haroratli vodorod bor. Vodorodning bir qismini sarflaganlaridan keyin ballondagi bosim 0,4 MPa i la ga iasaydi. S $\lt$ grflangan vodo-ch rodning massasi m aniqlansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

8.35. Yer sirtida turgan, sig'imi  $1600 \text{ m}^3$  bo'lган aerostat qobiqi 100 kPa bosimda va 290 K haroratda  $\frac{7}{8}$  qismga vodorod bilan to'ldirilgan. Aerostatni bosimi  $32=9$  kPa va harorati 280 K bo'lган ma'lum balandlikka ko'tardilar.

Ko'tarilishda qobiqdan chiqib ketadigan vodorodning massasi aniqlansin.

#### Gaz aralashmalar

8.36. 1 kg massali azot va 1 kg massali geliy gazlarining aralashmasi normal sharoitda qanday i hajmni egallaydi?

8.37. Sigimlari 20 l va 44 l bo'lган ballonlarda gaz saklanmokda. Birinchi ballondagi bosim 2,4 mPa, ikkinchisi-dagi esa 1,6 mPa. Agar gazning harorati oldingidek kolsa, ballonlar 'ulangandan keyin umumi bosim va partsial bosimlar va qanday bo'ladi?

8.38. Sig'imi  $0,01 \text{ m}^3$  bo'lган idishda 7 g massali azot va 1 g massali vodorod gazlarining 280 K haroratdagi aralashmasi saklanadi. Gaz aralashmasining bosimi aniqlansin.

8.39. Vodorod va kislородлarning massa ulushlari va mos ravishda  $1/9$  va  $8/9$  ga teng bo'lган aralashmasining

zichligi topilsin. Aralashmaning bosimi 100 kPa, harorati 300 K.

8.40. Kislorod va azotdan iborat gaz aralashmasi 1 mPa bosim ostida ballonda turibdi. Agar aralashmada kislorodning massa ulushi 0,2 bo'lsa, kislorodning va azotning partsial bosimlari aniqlansin.

8.41. Ko'ruk havo asosan kislorod va azotdan iborat. Agar havoning boshka tarkibiy qismlari inobatga olinmasa, unda kislorodning va azotning massa ulushlarini mos ravishda  $P_U=0,232$  va  $sh_2=0,768$  deb hisoblash mumkin. Havoning nisbiy molekulyar massasi aniqlansin.

8.42. 30 l sig'imi i ballonda 300 K haroratda va 828 kPa bosimda vodorod xamda geliy aralashmasi saklanadi. Aralashmaning massasi 24 g. Vodorodning va geliyning massalari aniqlansin.

8.43. 1 l sig'imi i idishda  $23^\circ S$  haroratda va 200 kPa bosimda azot va vodorod aralashmasi bor. Agar azotning aralashmadagi massa ulushi 0,7 bo'lsa, aralashmaning va uning tashqil etuvchilarining massalari aniqlansin.

8.44. Sig'imi 5 l bo'lган ballonda 600 kPa bosim ostida geliy va vodorod aralashmasi saklanadi. Aralashmaning massasi 4 g, geliyning massa ulushi  $SH=0,6$ . Aralashmaning harorati T aniqlansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

8.45. Idishda kislorod va vodorod aralashmasi bor. Aralashmaning massasi 3,6 g. Kislorodning massaviy ulushi 0,6 ni tashqil etadi. Aralashmaning V va har bir gazning aloxnda V] xamda 1?2 modda miqdorlari aniqlansin.

9- §. GAZLARNING MOLEKULYaR-KINETIK NAZARIYaSI

## Molekulalar kontsentratsiyasi

9.1. Sigimi 2 l bo'lgan idishda molekulalarinnng soni

$UU = 1,44 \cdot 10^{18}$  ta bo'lgan gaz bor. Gaz molekulalarinnng kontsentra\*  
tsiyasi p aniqlansin.

9.2. Molekulalarinnng kontsentratsiyasi  $1,25-10^{26} \text{ m}^3$ , ular-  
ning umumiy soni  $2,5 \cdot 10^{23}$  bo'lgan gaz saklanayotgan idishning  
sigimi aniqlansin.

9.3. 20 l sigimli idishda modda miqdori 1,5 kmol  
bo'lgan gaz bor. Idishdagi molekulalarning kontsentratsiyasi  
p aniqlansin.

9.4. Yepik idishda normal sharoitdagi ideal gaz bor. Gaz  
molekulalarinnng kontsentratsiyasi p aniqlansin.

9.5. Sirimi 51 bo'lgan idishda molekulalarinnng kontsentratsiyasi  
 $9,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$  bo'lgan kislород bor. Gaz massasi  
t aniqlansin.

9.6. Sigimi 5 l bo'lgan ballonda 17,5 g massali azot  
bor. Ballondagi azot molekulalarining kontsentratsiyasi aniqlansin.

9.7. Agar idishdagi vodorod molekulalarining kontsentratsiyasi  
 $1 = 2 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$  bo'lsa, 3 l sig'impli idishni to'ldirib turgan  
mazko'r gazning modda miqdori aniqlansin.

9.8. Sirimlari bir xil bo'lgan ikkita idishda turli gazlar  
bor: birinchisida - vodorod, ikkinchisida — kislород. Agar gaz-  
[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi  
larning massalari bir xil bo'lsa, gazlar kontsentratsiyalarining  
NISBaTI P/L2 topilsin.

9.9. Massasi 58,5 g bo'lgan gaz 5 l sig'impli idishda  
saklanmokda. Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi p —  $2,2 \times$   
 $10^{26} \text{ m}^{-3}$ . Bu qanday gaz?

9.10. Sigimi 2 l bo'lgan ballonda 1,17 g massali

kislород бор. Идішдегі молекулаларнинг концентрациясы

$1 = 1,1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Шұ берилғанлар буйынча Авогадро доиміysi  $N_A$  айқланын.

9.11. Ballonda normal шароитдегі кислород бор. Ма’лум һароратгача қизитилгандан сунг, молекулаларнинг бир қисмі атомларға діссотсіланды. Діссотсіланыш даражасы  $a=s=0,4$ . 1)  $p \backslash$  қиздірілішдан аввали газнинг; 2)  $lg$  қиздірілгандан keyingi молекуляр кислород зарраларининг, 3)  $yaz$  қиздірілгандан keyingi атомар кислород зарраларининг концентрациясы анықланын.

Газлар кинетик назариясінін асоси төңгілесінен.

Молекулалар энергиясы

9.12.  $300\text{ K}$  һароратдегі va  $1\text{ mPa}$  босим остидегі идеал газ молекулаларининг концентрациясы 1 анықланын.

9.13. Газ һароратининг иккі xil: 1)  $T'=3\text{ K}$ ; 2)  $T'=1\text{ kK}$  қиymatlarida идеал газнинг босими анықланын. Газ молекулаларининг концентрациясы  $ya=1019\text{ sm}^{-3}$  deb кабо’л кілінсин.

9.14.  $U=30\text{ l}$  sig’iml i ballonda  $300\text{ K}$  һарорат va  $5\text{ mPa}$  босим остида qancha газ молекуласы bo’лады?

9.15. Sig’imi  $240\text{ sm}^3$  bo’лган колбада  $290\text{ K}$  һароратда va  $50\text{ kPa}$  босим остида saklanayotgan gazнинг модда miqdori xamda молекулаларининг концентрациясы анықланын.

9.16. S i ri m i  $100\text{ sm}^3$  bo’лган колбада  $300\text{ K}$  һароратда muayyan газ saklanmokda. Agar sirkib chiqish natijasida kolbadan Yu20ta молекула чиқса, kolbadagi газ босими qanchaga pasayadi?

9.17. S i ri m i  $240\text{ sm}^3$  bo’лган колбада  $290\text{ K}$  һарорат va  $50\text{ kPa}$  босим остида газ бор. Газнинг модда miqdori va uning молекулалар сони анықланын.

9.18. Газнинг босими  $1\text{ mPa}$ , молекулаларининг концентрациясы

ya = Yu10sm~3.1) Gazning harorati T; 2) gaz molekulalarining ilgarilama harakat o'rtacha kinetik energiyasi aniqlansin.

9.19.600 K haroratdagi suv burlari molekulalarining ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi va tula kinetik energiyasining o'rtacha qiymati aniqlansin.

SHuningdek I kmol modda miqdoridagi barcha bur molekulala\* rining ilgarilanma harakat kinetik energiyasi topilsin.

9.20.400 K haroratda geliyning, kislorodning xamda suv burining bitta molekulasi to'la kinetik energiyasining o'rtacha qiymati aniqlansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

9.21. T=300K haroratdagi azot molekulasining o'rta hisobda oitta erkinlik darajasiga turri keluvchi kinetik energiyasi va shunnngdek, molekulaning ilgarilanma harakat ailanma harakat o'rtacha kinetik energiyalari xamda tulik kinetik znergyasiing o'rtacha knymati aniqlansin.

Agar . = 20 S haroratda tuyingan simob burlarining oosimi 0,13 Pa bo'lsa, shu haroratda simob bilan zaharlangan xonaning  $1 \text{ m}^3$  hajmdagi havosi tarkibida bo'lgan simob molekulalarining soni aniqlansin.

9.23. SHisha idishda yuqorii vakuum xosil kilish uchun yutilgan gazlarni chiqarib tashlash maksadida havoni surib olnshda idishni qizdirish kerak. Agar barcha yutilgan gazlar devordan idishga utsa, radiusn 10 sm bo'lgan sferik idishdagi bosim qanchaga ko'tarilishi aniqlansin. Devordagi molskulalar katlamni monomolekulyar, bitta molekulaning kesimi esa  $a = 10 - 15 \text{ sm}^2$  deb hisoblansin. G azni surib olish amalga oshirilayotgan paitdagi harorat 600 K.

1/ vodorodning dissotsilanish molyar energiyasi

Ut~ 419 kJ/mol bo'lsa, vodorodning qanday haroratida molekulasining ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi ularni atomlarga ajratishga yetarli bo'lishi aniqlansin.

Izo\*. Dissotsilanish molyar energiyasi deb modla miqdori bo'lган aytildi <>olekulalarini dissotsilash uchun sarflanadigan energiyaga Molekulalarning tezliklari

9.25. Vodorod molekulasining o'rtacha arifmetik va eng katta extimoliy u, tezliklari topilsin. Hisoblash haroratning uchta qiymati 1) 20K; 2) 300 K; uchun bajarilsin.

9.26. Qanday haroratda geliy atomining o'rtacha kvadratik tezligi ikkinchi kosmik tezlik  $\sqrt{2} = 11,2 \text{ km/s}$  ga tengbo'ladi?

9.27. Qanday haroratda kislorod molekulasi vodorod molekulasi 100 K haroratda ega bo'ladigan o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'ladi?

9.28. Sigimi 4 l bo'lган kolbada 0,6 g massali ma'lum bir gaz 200 kPa bosim ostida saklanmokda. Gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

9.29. Idishdagi geliy va argon aralashmasining harorati 1,2 kK- Gelyi va argon atomlarining o'rtacha kvadratik tezligi xamda o'rtacha kinetik energiyasi aniqlansin.

9.30. Havoda muallak suzib yuruvchi mayda chang zarralari guyoki juda katta molekulalar kabi harakatlanadi. Agar havoning harorati 300 K bo'lsa, Yu -10 g massali chang zarrachasining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

9.31. Kislorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi  $\sqrt{\text{o'kv}}$  kislorod molekulalarining orasida bo'lган 10 g massali chang zarrachasining o'rtacha kvadratik tezligidan necha

marta katta bo'ladi?

9.32. Gaz molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi  
=2 km/s bo'lsa, uning o'rtacha arifmetik tezligi aniqlansii.

9.33. 400 K haroratdagi vodorod molekulasining eng katta extimoliy tezligi aniqlansin.

**Barometrik formulani qo'llash va Boltzman taqsimotiga doir masalalar yechish.**

10.1 Havoda muallakturgan changzarralari  $10^6$ |8g massaga ega. Balandlik 10 m ga ortganda ularning kontsentratsiyasi p necha marta kamayadi? Havoning harorati 300 K.

10.2. Har birining massasi 10~12 g dan bo'lgan bir xil zarralar kuchlanganligi 0,2 mkN/kg bo'lgan bir jinsli gravitatsion maydonda taksimlangan. Bir-biridan 10 m uzoklikda bo'lgan ekvipotentsial satxlardagi zarralar kontsentratsiyasinnng nisbati aniqlansin. Harorat barcha katlamlarda bir xil va 290 K deb hisoblanadi.

10.3. Havoda muallak turgan chang zarralarining har birining massasi 1 ag dan. H=1m balandlikdagi chang zarralari kontsentratsiyasi p\ ning ularningbalandlikdagi kontsentratsiyasi po ga nisbati 0,787 ga teng. Havoning harorati 300 K. SHu berilganlar buyicha Avogadro doimiysi ning qiymati topilsin.

10.4. Agar bir-biridan 1 m masofada bo'lgan ikkita satxlardagi zarralar kontsentratsiyalarining nisbati  $p_1/p_2 = ye$  bo'lsa, tashqi bir jinsli ogirlik kuchi maydonida bo'lgan zarraga sa'sir etuvchi F kuch aniqlansin. Harorat T xamma joyda bir xil va 300 K ga teng deb hisoblansin.

10.5. Yer sirtidagi kuzatuvchi 100 m balandlikka kutarilganda 100 kPa atmosfera bosimi qanchaga kamayadi?

Havoning harorati 290 K va balandlikka boglik' emas deb hisoblansin.

10.6. Yer sirtidan qancha h balandlikda atmsofera bosimi uning sirtidagidan ikki marta kichiq bo'ladi? Havoning harorati 290 K va balandlikka boglik emas deb hisoblansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

10.7. Uchayotgan vertolet kabinasidagi barometr 90 kPa bosimni ko'rsatmokda. Agar uchish maydonchasida barometr Yu0 kPa bosimni ko'rsatgan bo'lsa vertolet qanday balandlikda uchmokda? Havoning harorati 290 K va balandlikka boglik emas deb hisoblansin.

10.8. Bosimning 100 Pa ga o'zgarishiga mos keluvchi balandlikning o'zgarishi DL kuyidagi ikki xol uchun topilsin:  
1) harorat 290 K va bosim (= 100 kPa bo'lgan Yer sirti yakinida; 2) harorat 220 K, bosim 25 kPa bo'lgan biror balandlikda.

10.9. Uchayotgan tayyora kabinasidagi barometr xamma vakt bir xil 8 kPa bosimni ko'rsatdi, shuning natijasida uchuvchi I uchish balandligini o'zgarmas deb hisobladi. Lekin, havoning harorati 1 K ga o'zgardi. Uchuvchi balandlikni aniqlashda qanday DL xatolikka yul kuydi? Harorat balandlikka boglik emas va Yer sirtidagi bosim />0=Yu 0 kPa deb hisoblansin.

**Tasodifiy voqealarning amalga oshish ehtimollik, parametrlarining o'rtacha qiymatini va fluktuatsiyasini hisoblashga doir masalar yechish.**

10.10. TSentrifuganing rotori o burchak tezlik bilan aylanmokda. Boltsmanning taksimot funktsiyasidan foyo'algshib tsentrifuga rotoridagi massali zarralar kontsentratsiyasi

p ning taksimoti aylanish ukidan uzoklik ning funktsiyasi sifatida aniqlansin.

10.11. Rotorining radiusi 0,5 m bo'lgan tsentrifugada nisbiy molekulyar massasi 100gr bo'lgan T =300 K haroratdagi gazsimon modda bor. Agar rotor ya = 30 s  $^{-1}$  chastota bilan aylanayotgan bo'lsa, rotor devorlari snidagi va uning markazidagi molekulalar kontsentraiiyalarining nisbati pa/p<sub>0</sub> aniqlansin.

10.12. Radon bilan to'ldirilgan tsentrifuganing rotori 50 s  $^{-1}$  chastota bilan aylanmokda. Rotoring radiusi 0,5 m. Agar rotor markazidagi bosim normal atmosfera bosimiga teng bo'lsa, gazning rotor devorlariga bosimi r aniqlansin. Harorat butun hajm buyicha bir xil va 300 K deb x, isoblansin.

10.13. TSentrifugada 271 K haroratdagi muayyan gaz bor. 0,4 m radiusli tsentrifuganing rotori 500 rad/s burchak tezlik bilan aylanmokda. Agar rotor devori yonidagi bosim r uning markazdagi bosim ra dan 2,1 marta katta bo'lsa, gazning nisbiy molekulyar massasi aniqlansin.

10.14. Radiusi 0,2 m bo'lgan ulbratsentrifuganing rotori 3 kK haroratdagi xlor atomlari bilan to'ldirilgan. Xlor ikkita izotopdan iborat: 37S1 va 38S1. 37S1 izotopi atomlarining ulushi 0,25. Agar rotorga 104 rad/s aylanish burchak tezligi berilsa, rotor devorlari yonidagi u va bu izotoplarni atomlarining ulushlari va aniqlansin.

### **Molekulalarning teziklar va kinetkk energiyalar bo'yicha taqsimoti.**

10.15. Molekulalarning teziklar buyicha taksimot funktsiyasidan eng katta extimolli tezlik formulasi keltirib chiqarilsin.

10.16. Molekulalarning tezliklar buyicha taksimot funktsiya-

si yordamida molekulalarning nisbiy tezliklar i( $i=i /io'$ )  
buyicha taksimotnni ifodalovchi funktsiya olinsin.

10.17. Ideal gazning muayyan molekulasining  $1/2$  o'tezlikdan  
kupi bilan  $1\%$  ga farq kiladigan tezlikka ega bo'lish extimolli-  
gi XV qanday bo'ladi?

10.18. Ideal gazning muayyan molekulasining  $2u$ , tezlikdan  
kupi bilan  $1\%$  ga farq kiladigan tezlikka ega bo'lish  
extimolligi XV topilsin.

10.19. Molekulalarning tezliklar buyicha taksimot funktsiya-  
sidan V tezliklari eng katta extimolli tezlik so'dan juda kichiq  
bo'lgan molekulalar ulushi do ni aniqlovchi formula keltirib  
chiqarilsin.

10.20. Tezliklari noldan to eng katta extimolli tezlik i,ning  
yuzdan bir bo'lagigacha oralikda joylashgan ideal gaz molekulala-  
rining nisbiy soni aniqlansin.

10.21. Molekulalarning tezliklar buyicha taksimot funktsiya-  
sidan ularning o'rtacha arifmetik tezligi aniqlansin.

10.22. Molekulalarning tezliklar buyicha taksimot funktsiya-  
sidan o'rtacha kvadratik tezlik aniqlansin.

10.23. va o'rtacha qiymatlardan kaysi biri  
katta ekanligi aniqlansin va ularning nisbati Ya topilsin.

10.24. Effuzion okishda molekulalar dastasidagi molekulalarning  
tezliklar buyicha taksimoti Maksvell taksimotidan  
farq kiladi va  $\{(i)sli = Su3' ye \sim pi'1/12*T\}i3yi$  ko'rinishga ega. Nor-  
mallashtrish shartidan koeffitsient aniqlansin.

10.25. Muayyan molekulyar dastadagi molekulalarning tezlik-2  
lar buyicha taksimot funktsiyasi  $TSi) = - o' — ye \sim t1,2/12KG)i3$  dan-  
 $2k T$

1) eng katta extimolli tezlik ; 2) o'rtacha arifmetik tezlik

uchun ifodalar topilsin.

10.26. Normal sharoitdagi vodorod  $1\text{sm}^3$  hajmni egallab turibdi. Shu xajmda biror itax—  $1 \text{ m/s}$  dan kichiq tezlikka ega bo’lgan molekulalar soni aniqlansin.

Gazning molekulalarining erkin yugurish nuli uzuiligidln kichiq tirknsh orkali okishiga effuzion oqim deynladi.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

10.27. Ideal gaz molekulalarining eng katta extimolli Impulsi formulasi chiqarilsin.

10.28. Impulslari eng katta extimolli impuls 9ga teppateng bo’lgan ideal gaz molekulalarining soni topilsin.

10.29. Ideal gaz molekulasi impulsining tashqil etuvchisining O’rtacha qiymati ni aniqlovchi formula chiqarilsin.

10.30. Harorat bir foizga O’zgarganda ideal gaz molekulasi impulsining eng katta extimolli qiymati necha foizga o’zgaradi?

10.31. Energiyasi eng katta extimolli energnyaga teng bo’lgan ideal gaz molekulasi impulsining ifodasi topilsin.

Molekulalarning kinetik energiyalar  
buyicha tatssimoti

10.32. Molekulalarning ilgarilanma harakat o’rtacha kinetik energiyasi ye,, ning ifodasi topilsin. Molekulalarning energiyalar buyicha taksimot funksnyasi ma’lum deb hisoblansin.

10.33. Molekulalarning energiyalar buyicha taksimoti formulasи molekulalarning nisbiy energiyalar  $u(i = yep / <ye ya>)$  buyicha taksimotini ifodalovchi formulaga aylantirilsnn. Bunda  $e,,$  — kinetik energiya;  $<Sep>$  — molekulalar ilgarilama harakating o’rtacha kinetik energiyasi.

10.34. Bir xil haroratda energiyasi molekula ilgarilanma

harakat o'rtacha energiyasi 1 % dan kup farq  
kilmaydigan ideal gaz molekulalarining ulushi sh aniqlansin.

10.35. g energiyasi kT dan kup marta kichiq bo'lган molekulalarning  
ulushi ni aniqlovchi formula keltirib chiqarilsin.

Molekulalarning energiya buyicha taksimot funktsiyasi ma'lum deb  
hisoblansin.

10.36. Energiyalari 0 dan 0,01 gacha oralikda  
joylashgan molekulalarning ulushi aniqlansin.

10.37. Energiyalari 0 dan biror E gacha oralikda joylashgan  
molekulalarning soni molekulalar umumiylar sonining 0,1 % ini  
tashqil kiladi. E ning kattaligi kT ulushlarida aniqlansin.

10.38. Molekulalarning energiyalar buyicha taksimot funktsiyasi  
ma'lum deb hisoblab, energiyasi E molekulalarning issiklik  
Harakat energiyasidan juda kup bo'lган molekulalar ulushi sh ni  
aniqlovchi formula keltirib chiqarilsin.

10.39. Energiysi biror E qiymatdan kup bo'lган molekulalar  
soni molekulalar umumiylar sonining 0,1 qismini tashqil kiladi.  
€|>/gG deb hisoblab, v ning kattaligi kT ulushlarida  
aniqlansin.

Ko'rsatma. Xosil bo'lган transsident tenglama grafik usulda yechilsin.

10.40. Molekulalarning energiyalar buyicha taksimot funktsiya-  
sidan foydalanim energyaning eng katta extimolli qiymati  
e, aniqlansin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

10.41. Molekulalarning kinetik energiyalar buyicha taksimot  
funktsiyasi /(e)de molekulalarning niobiylar kinetik energiyalar  
buyicha taksimot funktsiyasi  $f(Q)db$  ga o'zgartirilsin (bunda  
 $0=E=8$  molekulalar kinetik energiyasining eng katta exti-  
molli qiymati).

10.42. Kinetik energiyasi energiyaning eng katta extimolli qiymati E, dan kipi bilan 1 % ga farq kiladigan ideal gaz molekulalarining nisbiy soni w topilsin.

10.43. Kinetik energiyalari noldan  $0,01E$  ga teng qiymatgacha oralikda joylashgan ideal gaz molekulalarining nisbiy soni w aniqlansin ( $e$ , — molekulalar kinetik energiyasining eng katta extimolli qiymati).

10.44. Impulslari impulsning eng katta extimolli qiymati r ega teng bo'lgan ideal gaz molekulalarining kinetik energiyalari uchun ifoda topilsin.

10.45. Agar gazning harorati  $T$  ikki marta ortsa ideal gaz molekulalarining energiyalar buyicha taksimot funktsiyasi /(e) ning maksimum qiymati necha marta o'zgaradi? Yechim grafik bilan tushuntirilsin.

10.46. Bir xil haroratda ideal gaz molekulalari ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi  $\langle Sgp \rangle$  ilgarilanma harakat kinetik energiyasining eng katta extimolli qiymati ye, dan necha martaga farq kilishi aniqlansin

Erkin yugurish yuli uzunaigi va molekulalarsh-n tutsnashiimar soni

**Molekulalarning xarakterli tezliklarin hisoblash. Molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yoli uzunligi va molekulalarning to'qnashuvlar soni.**

10.47. 0,1 Pa bosim va 100 K haroratda vodorod molekulalari erkin yugurish yulining o'rtacha uzunligi 'opilsin.

10.48. Agar gazning harorati 300 K bo'lsa. qanday bosimda azot molekulalari erkin yugurish yulining o'rtacha uzunligi 1 m bo'ladi?

10.49. 10 l sig'impl i ballonda massasi 1 g bo'lgan

vodorod saklanadi. Molekulalar erkin yugurish yulinish yi-ra ia uzunligi aniqlansin.

10.50. 280 K haroratda azoch saklanayoggan  $20 \text{ -m}$  diametrli kolbada xosil kilingan  $100 \text{ mk}^11\text{a}$   $60\text{i:hv.} \ll \text{h}$  vio'umni yuqorii vakuum deb hisoblash mumkinmi?

10.51. Agar molekulalari erkin yugurish yo'linin'\* o'rtacha uzunligi  $1 \text{ sm}$  bo'lsa, siyraklailan vodorodnim Zlchligi aniqlansin.

10.52. Normal sharoitda  $1 \text{ s}$  davomi sh kislorod molekulasiaga urilishlarning o'rtacha soni topilsin.

\*0.53. Normal sharoitda  $1 \text{ mm}^3$  hajmni egallab turan vodorodning barcha molekulalari orasida  $.1 \text{ s}$  dapomida bo'ladigan xamma urilishlar soni topilsin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

10.54. Gaz razryadli trubkada 300 K harorat va  $1 \text{ Pa}$  bosimda neon bor.  $1 \text{ s}$  vaktda yuzasi  $1 \text{ sm}^2$  bo'lgan disk shakliga ega katodga uriluvchn neon atomlarining soni topilsnn.

10.55. 250 K harorat va  $100 \text{ Pa}$  bosim ostidagi kislorod molekulasi erkin yugurishinnng o'rtacha davom etishi topilsin.

10.56. Ushbu: 1) Izoxora; 2) izoterma jarayonlari uchuy ideal gaz molekulalari erkin yugurnshining o'rtacha uzunligi ning bosim r ga bogliklign topilsin. Bu boglanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.57. 1) Izoxorik; 2) izotermik jarayonlar uchun ideal gaz molekulalari erkin yugurish nuli o'rtacha uzunligi ning harorat G ga boglikligi topilsin. Bu boglanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.58. 1) Izoxorik, 2) izotermik jarayonlar uchun ideal gaz molekulasi 1 s da tuknashishlari o'rtacha soni ning bosim r ga boglikligi topilsin. Bu boglanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.59. I ) Izoxorik; 2) nzobarik jarayonlar uchun ideal gaz molekulasi 1 s da tuknashishlari o'rtacha energiyasi ning harorat T ga boglikligi topilsin. Bu boglanishlar grafiklarda tasvirlansin.

### **Issiqlik o'tkazuvchanlik va energiya ko'chisi. Diffuziya oqimi va diffuziya koeffitsientini hisoblash.**

10.60. Normal sharoitda geliy atomlari erkin yugurish yulining O'rtacha uzunligi 180 nm. Geliyning diffuziyasi O aniqlansin.

10.61. 0°S haroratda kislorodning diffuziyasi  $D = 0,19 \text{ sm}^2/\text{s}$ . Kislород molekulalari erkin yugurish yulining o'rtacha uzunligi aniqlansin.

10.62. Azot diffuziyasi O: 1) normal sharoitda; 2)  $r \gg 100 \text{ Pa}$  bosim va 300 K haroratda xieoblansin.

10.63. Bir xil sharoitda bo'lgan gaz xolatidagi vodorodning diffuziyasi  $D$ ] gaz xolatidagi kislorodning diffuziyasi  $/2$  dan necha martaga farq kilishi aniqlansin.

10.64. 1) Izobarik; 2) izoxorik jarayonlar uchun diffuziya O ning harorat T ga boglikligi aniqlansin.

10.65. 1) Izotermik, 2) izoxorik jarayonlar uchun diffuziya

O ning bosim r ga boglikligi aniqlansin.

**Impuls oqimini va qovushoqlik koeffitsientini hisoblash. Issiqlik oqimi.**

10.66. Normal sharotidagi kislorodning dinamik kovushokligi hisoblansin.

10.67. Dinamik kovushokligi 17 mkPa\*s bo'lgan azot molekulalari erkin yugurish yulining o'rtacha uzunligi topilsin.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

10.68. Normal sharoitlarda geliyning diffuziyasi  $\mathfrak{L} = 1,06 \times X \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . SHu sharoitlarda geliyning dinamik kovushokligi g topilsin.

10.69. 1) Izobarik; 2) izoxorik jarayonlar uchun dinamik kovushoklik g) ning harorat T ga borlikligi aniqlansin. Bu borlanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.70. I ) Izotermik; 2) izoxorik jarayonlar uchun dinamik kovushoklik t| ning bosim r ga boglikligi aniqlansin. Bu borlanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.71. Radiusi 10 sm va uzunligi 30 sm bo'lgan tsilindr 10,5 sm radiusli tsilindr ichiga har ikkala tsilindrning aylanish uklari mos keladigan qilib joylashtirilgan. Kichiq tsilindr harakatsiz.kattasi esa geometrik ukiga nisbatan 15 s chastota bilan aylanmokda. TSilindrlar turgan gazning dinamik kovushokligi t) 8,5 mkPa. 1) Ichki tsilindrning  $1 \text{ m}^2$  yuzali sirtiga ta'sir etayotgan urinma kuch 2 ) shu tsilindrga ta'sir etayotgan aylantiruvchi moment aniqlansin.

10.72. Radiuslari 20 sm dan bo'lgan ikkita gorizontal disk bir-birining ustida uklari mos tushadigan tarzda joylashgan. Disklarning sirtlari orasidagi masofa 0,5 sm. Yuqoriidagi disk harakatsiz, pastdagisi esa geometrik Ukiga nisbatan

10 s -1 chastota bilan aylanmokda. Yuqoriidagi diskka ta'sir etadigan aylantiruvchi moment topilsin. Disklar turgan havoning dinamik kovushokligi  $14 = 17,2 \text{ mPa s}$ .

10.73. 1 mPa bosim va 300 K harorat ostida turgan uta siyraklashtirilgan azotDa ikkita parallel plastina bir-biriga nisbatan 1 G m/s tezlik bilan harakatlanmokda. Plastinalar orasidagi'masofa o'zgarmaydi va molekulalar erkin yugurish yulining o'rtacha uzunligidan juda xam kichiq. Plastinalarning  $1 \text{ m}^2$  yuzali sirtiga ta'sir etadigan ichki ishkalanish kuchi aniqlansin.

**Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.**

10.74. Normal sharoitdagi geliyning issiklik utkazuvchanligi k hisoblansin.

’ 10.75. Kuchish xodisasining taxminiy nazariyasida  $k/u = s_{\mu}$ , muo'osabat xosil bo'ladi. Aniqrok nazariya esa  $X/g_1 = o'$  qiymatga olib keladi, bunda  $Y_a = o' lchamsiz koeffitsient (/g = (9u - 5)/4; u - adiabata ko'rsatkichi)$ . Ushbu gazlar: 1) argon; 2) vodorod; 3) kislород; 4) suv burlari uchun keltirilgan formula va 12-jadvalda keltirilgan tajribalar natijalari buyicha  $/g$  ning qiymatlari topilsin.

10.76. Normal sharoitda havoning dinamik kovushokligi  $17,2 \text{ mPa}^* \text{s}$ . Xuddi shu sharoit uchun havoning issiklik utkazuvchanligi A, topilsin.  $/g$  ning qiymati 10.75- masalada keltirilgan formula buyicha hisoblansin.

10.77. 1) Izobarik, 2) izoxorik jarayonlar uchun issiklik Utkazuvchanlik k ning harorat T ga boglikligi aniqlansin. Bu borlanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.78. 1) Izotermik; 2) izoxorik jarayonlar uchun issiklik utkazuvchanlik k ning bosim ga boglikligi aniqlansin. Bu borlanishlar grafiklarda tasvirlansin.

10.79. Oralaridagi masofa  $y = \text{mm bo'lgan ikkita katta parallel plastina orasidagi bo'shlik geliy bilan to'ldirilgan}$ . Bitta plastinaning harorati 290 K, boshkasiniki 3 10 K qilib tutib turiladi. Issiklik oqimining zichligi  $|f|$  hisoblansin. Hisoblash geliyning bosimi r\ 1) 0,1 mPa ga; 2) 1 mPa ga teng xollar uchun bajarilsin.

**Gaz xajmining o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblash. Ideal gazlarning issiklik sig'imirini hisoblash.**

11.1. 1) Geliy; 2) vodorod; 3) karbonat angidrid gazlarining solishtirma issiklik sigimlari so'va s R lar hisoblansin.

11.2. Muayyan ikki atomli gazning solishtirma issiklik sigimlarining farqi s R— $S_u=260 \text{ J/(kg*K)}$  . Gazning molyar massasi M va uning solishtirma issiklik sigimlari so'va s Rlar topilsin.

11.3. Tarkibida massasi 10 g kislород va massasi 300gr azot bo'lgan gaz aralashmasining solishtirma issiklik sigimlari c v qanday bo'ladi?

11.4. Tarkibida 5 l vodorod va 3 l gelii bo'lgan gaz aralashmasining solishtirma issiklik sigimlari aniqlansin.

Gazlar bir xil sharoitda turibdi.

11.5. Agar birinchi tashqil etuvchisining modda miqdori 2 mol , ikkinchisining modda miqdori esa 4 mol bo'lsa, kislород va azot aralashmasining solishtirma issiklik sigimi aniqlansin.

11.6. Ballonda argon va azot bor. Agar argonning va azotning massaviy ulushlari bir xil va sh = 0,5 bo'lsa, bu

gazlar aralashmasining solishtirma issiklik sigimi c v aniqlansin.

11.7. Gaz aralashmasi bir xil sharoitlarda va teng hajmlarda olingan xlor xamda kripton gazlaridan iborat. Aralashmaning solishtirma issiklik sigimi sr aniqlansin.

11.8. Agar aralashmadagi gazlarning modda miqdorlari bir xil va v ga teng bo'lsa, ksenon va kislorod aralashmasining solishtirma issiklik sigimi Su aniqlansin.

\* 131-betdag'i izoxga k.

[www.ziyouz.com](http://www.ziyouz.com) kutubxonasi

11.9. Tarkibida massasi 10 g geliy va massasi 4 g vodorod bo'lган gaz aralashmasi uchun adiabata ko'rsatkichi u topilsin.

11.10. Gaz aralashmasi bir xil sharoitlarda va bir xil hajmlarda olingan argon xamda azot gazlaridan tashqil topgan. Bunday aralashmaning adiabata ko'rsatkichi u aniqlansin.'

11.11. Agar aralashmadagi har ikkala gazning massaviy ulushlari bir xil va 0,5 bo'lsa, vodorod xamda neon aralashmasining adiabata ko'rsatkichi u 'opilsin.

11.12. Agar aralashmadagi gazlarning modda miqdorlari bir xil va V ga teng bo'lsa, kislorod xamda argondan iborat gazlar aralashmasining adiabata ko'rsatkichi u topilsin.

11.13. Gaz xolatidagn vodorodning dissotsilanish darajasi 0,6. SHunday qisman dissotsilangan vodorodning solishtirma issiklik SIRIMI Su topilsin.

11.14. Dissotsilanish darajasi 0,4 bo'lган qisman dissotsilangan gaz xolatidagi azotning adiabata ko'rsatkichi u aniqlansin.

11.15. Qisman dissotsilangan gaz xolatidagi xloring adiabata ko'rsatkichi 1,55 bo'lsa, bunday gazning dissotsilanish darajasi a aniqlansin.

11.16. Massasi 160 g bo'lgan kislorodni 12 K ga qizdirishga 1,76 kJ issiklik miqdori sarflanadi. Jarayon qanday kechgan: o'zgarmas hajmdami yo o'zgarmas bosimdamini?

11.17. Gazni adiabatik sikishda uning hajmi 10 marta kamaydi, bosimi esa 21,4 marta oshdi. Gaz solishtirma issiklik sirimlarining nisbati  $C_V$  va  $C_P$  aniqlansin.

11.18. Massasi 4 g bo'lgan vodorod o'zgarmas bosim ostida 10 K ga qizdirilgan. G az kengayishining ishi aniqlansin.

11.19. 121 hajmni egallagan 10 kPa bosim ostidagi gaz 300 K haroratdan to 400 K haroratgacha izobarik ravishda qizdiriladi. Gaz kengayishining ishi aniqlansin.

11.20. Agar 5 g massali vodorod 290 K haroratda izotermik ravishda kengayganda uning hajmi uch marta oshgan bo'lsa, bunda qanday ish bajarilgan?

11.21. Massasi 1 kg bo'lgan kislorodni adiabatik sikishda 100 kJ ish bajarildi. Agar sikilguncha kislorod 300 K haroratda bo'lgan bo'lsa, gazning oxirgi harorati aniqlansin.

11.22. Agar massasi 4 g bo'lgan vodorod adiabatik kengayishida uning harorati 10 K ga pasaysa, adiabatik kengayishidagi ish aniqlansin.

11.23. Massasi 2 g bo'lgan 300 K haroratdagi azot shunday adiabatik sikilganki, hajmi 10 marta kamaygan. Gazning oxirgi harorati va sikish ishi aniqlansin.

11.24. 1,2 mPa bosim ostida 1 l hajmni egallagan kislorod 2 l hajmgacha adiabatik kengaydi. Gaz kengayishi-ning ishi aniqlansin.

**Gazga berilgan issiqlik miqdori, gazning ishi va ichki energiyasiniig uzgarishi orasidagi boglanishga doyr masapalar yechish.**

11.25.150 K ga qizdirilgan 5 kg massali azot Khajmini o'zgarmas sakladi. 1) gazga berilgan issiklik miqdori 2) ichki energyaning o'zgarishi 3) gaz bajargan ish topilsin.

11.26. Vodorod 100 kPa bosimda  $10 \text{ m}^3$  hajmni egallaydi. Gaz o'zgarmas hajmda 300 kPa bosimgacha qizdirildi. 1) gazning ichki energiyasining o'zgarishi 2) gaz bajargan ish; 3) gazga berilgan issiklik miqdori aniqlansin.

11.27. Hajmi 50 l bo'lган kislorodni izoxorik ravishda qizdirilganda uning bosimi 0,5 mPa ga o'zgardi. Gazga berilgan issiklik miqdori topilsin.

11.28. 20 l si r im li idishda 300 K haroratda va 0,4 mPa bosim ostida vodorod saklanmokda. Agar gazga 200kJ issiqlik miqdori berilsa, uning harorati va bosimi qanday buladi?

11.29. O'zgarmas 80 kPa bosimdagi kislorod qizdirilmokda. Uning hajmi  $1\text{m}^3$  dan  $3\text{m}^3$  gacha ortdi. 1) Kislorodning ichki energiyasining ortishi. 2) kengayishida uning bajargan ishi A; 3) gazga berilgan issiklik miqdori aniqlansin.

11.30. Azot o'zgarmas bosim ostida qizdirildi va bunda unga 2 kJ issiklik miqdori berildi. Bunda gaz bajargan ish va uning ichki energiyasining o'zgarishi aniqlansin.

11.31. 2 kg massali kislorod 0,2 mPa bosim ostida  $1 \text{ m}^3$  hajmni egallab turibdi. Gaz oldiniga o'zgarmas bosimda  $3 \text{ m}^3$  hajmgacha, keyin esa o'zgarmas hajmda 0,5 mPa bosimgacha qizdirildi. 1) Gazning ichki energiyasining o'zgarishi 2) u bajargan ish ; 3) gazga berilgan issiklik miqdori

topilsin. Jarayonning grafigi tuzilsin.

11.32. 1 g massali geliy o'zgarmas r bosimda 100 K ga qizdirildi. 1) Gazga berilgan issiklik miqdori f; 2) kengayish ishi 3) gaz ichki energiyasining orttirmasi aniqlansin.

11.33. Izobarik jarayonda ideal gazga berilgan issiklik miqdorining qanday SH<sub>1</sub> ulushi gaz ichki energiyasining. D{/ ortishiga va qanday shg ulushi kengayish ishi A ga sarflanadi? Gaz: 1) bir atomli; 2) ikki atomli; 3) uch atomli bo'lган xollar karalsin.

11.34. Suv buri o'zgarmas bosimda kengaymokda. Agar burga 4 kJ issiklik miqdori berilgan bo'lsa, kengayish ishi aniqlansin.

11.35. 200 g massali azot 280 K haroratda izotermik ichko'eo'ro'yasinio'o'o'ao'nshiIdo'Go'o'azo'engaytiida'bajarilgan V \* >> o' & ch y g |i y ya P Gaz ichki energiyasining o'zgarishi D&/, 2) u R 3) gazga bero'gan o' o' gJ " k g.

bunda unga S?=40 kJ " s" J o ' i l s i n  
280 K Rharorao'a egao'lgan' 1 g massali vodorod LaNp NCHCH 0 2 mPa bosim ostida 10 l x.ajmni egallagan azot 28 l hajmgacha izotermik kengaydi. Gaz kengaiishini ishi A va gaz olgan issiko'ik miqdori 01 a" io' 0a0no'i". tdagi

11.40. Modda miqdori ,1mol bo'lgan

kislород izotermik kengaiganda unga 200J berildi. Gazning hajmi necha marta ortgan.

1141 Agar 80 K haroratdagi va 0,1 mPa oosim ostidagi g massali azot? 1 mPa bosimgacha izotermik jarayonda vodorod 6 kJ ish bajaradi. Agar jarayon:

, ) izobarik\*2o' izotermik ravishda kechgan bo'lsa, gazga uzatilgan Issimik 290 K -r o r a tda va 220 kPa

ichki energiyasining o'zgarishi topilsin.

11.46 TSilindrini porshenъ ostida 300 K haroratda 10 kg massali vodorod bor. Vodorod oldiniga adiabatik jarayondagi holati tasvirlans

11.47. Adiabatik sikilish natijasida 20 g massali kislородning ichki energiyasi 8 kJ ga ortdi va harorati 300 K gacha ko'tarildi. 1) haroratning ortishi ; 2) agar boshlang'ich bosim 200 kPa bo'lsa, gazning oxirgi bosimi topilsin.

11.48. 10 l hajmni egallagan 100 kPa bosim ostidagi havo 1 l hajmgacha adiabatik sikildi. Sikilishdan keyin havo kandai bosim ostida bo'ladi?

11.49. Dizelъ dvigatelidagi yokilgi aralashmasi 1.1 kK haroratda alangalanadi. Aralashmaning boshlang'ich harorati 100 K. Alangalanishi uchuy sikishda aralashma hajmini necha marta kamaytirish kerak? Sikish adiabatik deb hisoblansin.

Aralashma uchun adiabata ko'rsatkichi 1,4 deb kabo'l kilinsin.

11.50. Massasi 4 0 0 g bo'lgan karbonat angidrid gazi S 0 2 o'zgarmas bosim ostida 750 K ga qizdirildi. Gazning ichki energiyasining o'zgarishi, gaz olgan issiklik miqdori va u bajargai ish aniqlansin.

11.51. 100°S haroratdan to 20°S haroratgacha sovitilgan 800 g massali kislород hajmini o'zgarmas sakladi.

1) Gaz olgan issiklik miqdori f; 2) ichki energiyasining o'zgarishi, 3) gaz bajargai ish aniqlansin.

11.52. Qizdirishda 3 l hajmli azotniig bosimi 1 MPa ga oshadi. Agar gazning hajmi o'zgarmay kolgan bo'lsa, gaz olgan issiklik miqdori aniqlansin.

**Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsientlari va ideal gaz jarayonlarida**

### **entropiya o'zgarishini hisoblash.**

11.53. Aylanma jarayon natijasida gaz 1kJ ish bajardi va sovitkichga 4,2 J issiklik miqdori berdi. Siklning FIK aniqlansin.

11.54. Yepik jarayonni bajarib, gaz isitkichdan 4 kJ issiklik miqdori oldi. Agar termik FIK I 0,1 bo'lsa, tsikl utishida gazning bajargan ishi aniqlansin.

11.55. Modda miqdori 1 mol bo'lgan ikki atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat tsiklni bajarmokda. Eng kichiq hajmi 10 l, eng kattasi 20 l, eng kichiq bosim 246 kPa, eng kattasi 410 kPa. TSiklning grafigi tuzilsin. TSiklning harakterli nuktalari uchuy harorat va uning termik FIK aniqlansin.

11.56. Modda miqdori 1 kmol bo'lgan ikki atomli ideal gaz grafigi 11.4- rasmida tasvirlangan yepik tsiklni ba\* o' - a P isitkichdan olingan issiklik miqdori 2) sovitkich a y r G a i issiklik miqdori 3) bajargan ishi; 4) siklning termin Fik ni toping.

11.57. Modda miqdori  $v = 1 \text{ mol}$  bo'lgan  $300 \text{ K}$  xaro'd va  $0.1 \text{ mPa}$  bosim ostidagi ikki atomli ideal gazni o'zgarma xyajmda  $0.2 \text{ mPa}$  bosimgacha qizdirildi. Bundan keiin esa gaz boshlang'ich bosimgacha izotermik kengaydi va sungra boshlanri hajmi, gacha izobarik sikildi. TSiklning grafigi tuzilsin.

11.58. TSiklning harakterln nuktalari uchuy gazning harorati T va uning kmol bo'lgan bir atomli gaz  $10 \text{ l}$  xajmgacha yeyGaGiabaTiGsio'ldi va YgTpmas haroratda boshlang'ich hajm va bosimgacha kengaidi.

Jyapayonning grafigi tuzilsin. 1) tsiklning harakterli nuktala-haroratlo'r, K 2 o'jmlar va bosim,  $2 \text{o'}$  gazning isitkichdan olgan issiklik miqdori, ) sovitgichga bergen issiklik miqdori; 4) butun tsikl davomida

“ z bajarganL ish; 5) tsiklning termik F I K 1™ ” “ kkita

1159. Ko’p atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita

izobaradan iborat tsiklni bajardi. Bunda g a z n i n g • engo’ k a ™

bosimi eng kichiq bosimidan ikki marta katta, eng katta hajmda

eng kichiq hajmidan turt marta katta bo’ldi. TSiklning termik

F I I .Karno°tsiklini bajarayotgan ideal gaz isito’ ” chda

olingan issiklik miqdorining 2/3 qismini sovitkichga berad .

Sovitkichning harorati 280 K. Isitkichning harorati 7, aniq-

LaNP.61. Ideal gaz Karno tsiklini bajarm°ada. Smishichning

xaoooati 290 K. Agar isitkichning harorati 400K gacha ko’tarilsa, tsiklning F I K

necha marta ortadi.

1162. Ideal gaz Karno tsiklini bajarmokda. Isitkichnin

harorati G, sovitkichning harorati T2 dan uch marta yuqorii

Isitkich gazga 42 kJ issiklik miqdori berdi. Gaz kandai

A IP.63.JIdeal gaz Karno tsiklini bajarmokda. o’ S” To’ICH{1I” G

xyaoooati 470 K, sovitkichning harorati esa T2— <.>> 14. izo

term i n k ye n g a y ish d a ga z 100 J ish b a j a r a d i . TS i o ’ n i n g t y e r , , i k

F I K 1 xamda izotermik sikilishda gaz sovitkichga

issiklik miqdori (?2 aniplansin. pxlpipa Isitkichning

11.64. Ideal gaz Karno tsiklini bajarmokda. Isitkichni

harorati sovitkichning harorati dan turt marta kjori., )1a

bir tsikl da isitkichdan olinadigan issiklik miqdorining kandai

tu ulushini sovutgichga beradi?

11.65.Karno siklini bajarayotgan ideal gaz isitkichdan

4,2 kJ issiklik miqdori olib, 590 J ish bajardi. Bu

tsiklning termin F I K topilsin. Isitkichning harorati

sovitkichning harorati dan necha marta katta?

11.66. Ideal gaz Karno tsiklini bajarmokda. Gazning izo-

termik kengayishidagi ishi 5 J . Agar tsiklning termik koefisenti 0.01gach izotermik

sikilishdagi ish aniqlansin.

/so dRN0 tsiklini bajarayotgan gazning eng kichiq hajmi

1 l- Agar gazning izotermik kengayishining oxiridagi U2  
hajmi va izotermik sikilishning oxiri-

A dagi U4 hajmi mos ravishda 600 l va 189 l ga  
teng bo'lsa, eng katta hajm aniqlansin.

\ \ 11.68. Ikki atomli ideal gaz grafigi

D | \ 11.5- rasmida tasvirlangan Karno tsiklin bajarmokda. V va S xolatlarda gaz  
hajm-

lari mos ravishda 2 l va 16 l.

1 o' TSiklning termik F I K ttopilsin.

11.69. 280 K haroratdagi 5 kg massali suvni 350 K  
haroratdagi 8 kg massali suv bilan aralashtirdilar. 1 ) Ara-  
lashmaning harorati 0; 2) aralashtirishda entropiyaning uzga-  
rishi topilsin

11.70. Massasi 100 gr bo'lган vodorodni izoxorik qizdirish  
natijasida gazning bosimi ikki marta ortdi. Gaz entropiyasining  
o'zgarishi D5 aniqlansin.

1/4 G massali azotning 5 l hajmdan to  
k2—U 1 hajmgacha izobarik kengayishida entropiyaning o'zgarishi  
Do topilsin.

11.71. 250K haroratdagi 200 g massali muz parchasi  
gacha isitilib eritilgan va sungra xosil bo'lган suv  
gacha isitilgan. Ko'rsatilgan jarayonlar davomida  
entropiyaning o'zgarishi D5 aniqlansin.

2 kg massali muz harorati

/2=1ii S. bo'lган bur yerdamida xuddi usha ( $0^{\circ}\text{S}$ ) haroratdagi  
suvga ailantirildi. Sarflangan burning massasi t2 aniqlansin.

Muz — bur tizimi entropiyasining o'zgarishi D5 qanday?

11.74. 2 kg massali kislorod bir marta izotermik Ooshkasida adiabatik ravishda uz hajmini 5 martaga oshirdi! Ko'rsatilgan jarayonlarning har birida entropiyaning o'zgarishi topilsin.

11.75. 100 g massali vodorod shunday izobarik qizdirildi-ki, uning hajmi 3 marta oshdn, keyin vodorod shunday izoxorik sovitildiki, bosimi 3 marta kamaydi. Ko'rsatilgan jara-enlar davomida entropiyaning o'zgarishi D5 topilsin.

**Real gazlarning holat parametrlarini va ichki energiyasini hisoblash.**

12.1. 10 l sig'impl i idishda 0,25 k g massali azot bor.

1) Gazning ichki bosimi ; 2) molekulalarning xususiy hajmi aniqlansin.

12.2. 1 mol modda miqdoridan iborat kislorod 300 K haroratda 0,5 l hajmni egallagan bo'lsa, u ko'rsatadigan bosim aniqlansin. Olingan natija Mendeleev-Klapeyron formulasi buyicha hisoblangan bosim bilan solishtirilsin.

12.3. 0,3 l sig'impl i idishda 300 K haroratda modda miqdori 1 mol bo'lган karbonat angidrid bor. Gazning bosimi r: 1) Mendeleev-Klapeyron formulasi buyicha; 2) Van-der-Vaal's tenglamasi buyicha aniqlansin.

12.4. Modda miqdori 2 mol bo'lган kripton 300 K haroratda turibdi. Bosimni hisoblashda Van-der-Vaal's tenglamasi urniga Mendeleev-Klapeyron tenglamasidan foydalanishda yul qo'yiladigan nisbiy xatolik ye =  $D r/r$  aniqlansin. Hisoblashlar hajmning ikki qiymati: 1) 2 l; 2) 0,2 l uchun bajarilsin.

12.5. Xona har-oratida kalin devorli po'lat ballonning ichini yarmigacha suvga tul'dirdilar. SHundan keyin ballonni germetik ravishda maxkamladilar va 650 K haroratgacha qizdirdilar.

SHu haroratda ballondagi suv bugining bosimi r aniqlansin.

12.6. Kislородning bosimi 7 mPa, zichligi 100 k g /m .

Knslородning harorati topilsin.

12.7. 380 K haroratda hajmi: 1) 1000 l; 2) 10 l; 3) 2 l

bo'lgan 1 kg massali suv burlarining bosimi aniqlansin.

Kritik uolat

12.8. Agar kritik harorat 126 K va bosim 3 ,3 9 mPa

lar ma'lum bo'lsa, azot uchun Van-der-Vaal's tenglamasidagi a va  
doimiylar hisoblansin.

12.9. 1) Kislородning; 2) suvning kritik harorati va

kritik bosimi hisoblansin.

12.10. Argon uchun kritik harorat 510 K va kritik bosim

4 ,8 6 mPa. SHu berilgao'lar buyicha argonning kritik molyar  
hajmi aniqlansin.

12.11. Mustaxkam kvarts kolba zichligi 626 k g /m 3 bo'lgan

suyuq pentan S5N 12 bilan qisman tuld-yriladi va unn pentan ustida  
fakat tuyingan bur qoladigan qilib m-axkamlanadi. Qizdirishda

moddannng kritik nuktadan utishini kuzatish mumkii bo'lishi

uchun kolba ichki hajmining qanday ye qismini pentan egallashi  
kerakligi aniqlansmi -Van-der-Vaal's doimiysi  $14,5 \cdot 10^{-6}$

m<sup>3</sup>/mol

12.12. Modda miqdori 1 mol bo'lgan suv egallashi mumkin .

(ulgan eng katta hajm aniqlansin.

12.13. Kritik xolatdagi suv burlarining zichligi aniq

ansin.

12.14. Tuyintiruvchi suv burlarining eng katta bosimi r tax

aniqlansin.

12.15. Kritik xolatdagi azot molekulalarining kontsentratsiya-

si 1 krnormal sharoitdagi azot molekulalarining kontsentratsiyasi

po dan necha marta katta?

12.16. 1) Massasi 0,5 g bo'lgan kislorodning; 2) massasi 1 g bo'lgan suvning kritik hajmi topilsin.

12.17\*. Modda miqdori 2 mol bo'lgan gaz kritik haroratad turibdi va kritik hajmni egallagan. Gazning bu xolatdagi bosimi kritik bosim dan necha marta kichiq?

12.18\*. Agar hajmi va bosimi mos kritik va r „, qiymatlardan 3 marta ortiq bo'lsa, azot oksidi qanday T haroratda turibdi? Azot oksidining kritik harorati 180 K.

12.19\*. Gaz kritik xolatda turibdi. Agar gazning harorati T va hajmi U bir paytning uzida 2 marta orttirilsa, uning bosimi r kritik bosim RkrDan qanday va necha marta farq kiladi?

12.20\*. Gaz kritik xolatda turibdi. Agar uning harorati T izoxorik ravishda 2 marta orttirilsa, gazning bosimi r necha marta oshadi?

12.21. 1 2 6 K kritik haroratdagi 1 mol modda miqdoridan iborat azotning ichki energiyasi aniqlansin. Xisoblash U hajmning kuyidagi turtta qiymati uchun bajarilsin: 1) 20 l; 2) 2 l; 3) 0,2 l;

12.22. Modda miqdori 1 mol bo'lgan kislorod 3 5 0 K haroratda turibdi. Agar u ideal gaz sifatida karalsa ichki energiyani hisoblashda yul ko'ynladigan nisbiy xatolik ye topilsin. Hisoblash U hajmning kuyidagi ikkita qiymati uchun bajarilsin: 1) 2 l; 2) 0,2 l.

12.23. Normal bosim va 3 0 0 K haroratdagi massasi 132 g bo'lgan karbonat angidrid gazini: 1) ideal gaz; 2) real gaz deb qarab, ichki energiyasi topilsin.

12.24. Massasi 8 g bo'lgan kislorod 3 0 0 K haroratda U= 20 sm<sup>3</sup> hajmni egallaydi. Kislorodning ichki energiyasi

aniqlansin.

12.25. Modda miqdori 1 mol bo'lgan neonning hajmi 1 1 dan 2 1 gacha izotermik ravishda kengayganda ichki energiyasining o'zgarishi aniqlansin.

12.26. 0,1 kg massali karbonat angidrid gazining hajmi 103 l dan to 104 l gacha ortdi. Gazning bu kengayishida molekulalar ichkn Uzaro ta'sir kuchlarining ishi topilsin.

12.27. Sig'imi 1 l bo'lgan idishda 10 g azot saklanadi.

Agar azot bushlikda 10 l hajmgacha kengaysa, uning haroratining o'zgarishi annklansin.

12.28. 7,1 g massali gazsimon xlor sig'imi 0,1 l bo'lgan idishda turibdi. Bushlikda 1 l hajmgacha kengayishida gazning harorati o'zgarmay kolishi uchun xlorga qanday @ issiliklik miqdori berilishi kerak?

Sirt tarangligi. Kapillyar %odisalar

#### **Suyuqliklarning sirt tarangligi va kapillyar xodisalarga doir masalalar yechish.**

12.29. Kapillyar naydan oqib chiqayotgan 100 tomchi spirtning massasi 0,71 g. Agar uzilish paytida tomchi buynining diametric 1mm bo'lsa, spirtning sirttarangligi annklansin.

12.30. Nayning diametri 0,2 sm. Nayning kuyi uchida uzilish paytida sharcha ko'rinishiga ega bo'lgan suv tomchisi osilib turibdi. SHu tomchining diametri topilsin.

12.31. Puflabsovun pufagining diametrini 1 sm dan 11 sm gacha orttirish uchun qanday ishni bajarish kerak? Jarayon izotermik deb hisoblansin.

12.32. Har birining radiusi 1 mm dan bo'lgan ikkita simob tomchisi bitta katta tomchiga birlashishdi. Bu kUshilishda qanday E energiya ajraladi? Jarayon izotermik deb hisoblansin.

12.33. Diametri 2 mkm bo'lgan havo pufagi suvning ayni

sirtida turibdi. Agar suv sirti ustidagi havo normal sharoitda turgan bo'lsa, pufakdagi havo zichligi annklansin.

12.34. Agar sovun pufagining diametri 5 mm bo'lsa, pufak ichidagi havo bosimi atmosfera bosimi dan qancha katta?

12.35. O'lchamlari 5x6x4 sm dan bo'lgan o'zaro parallel joylashgan ikkita shisha plastinkalar orasidagi masofa 2 2 mkm bo'lib, oralaridagi bushlik suv bilan to'ldirilgan bo'lsa, bu plastinkalarni bir-biriga sikuvchi T7 kuch annklansin. Menisk botik, diametri esa plastinkalar orasidagi masofaga teng deb hisoblansin.

12.36. Mikroskopning koplama shishasi diametri 1 6 mm bo'lgan doyra ko'rinishiga ega. Uning ustiga 0 ,1 g suvni surtdilar va xuddi shunday boshka shishani yotqizdilar; natijada shishalar bir-biriga yopnshib koldi. Ajratish uchun shishalar sirtiga tik bo'lgan qanday Ye kuch bilan ularni tortish kerak? Suv shishani tula xullaydi va shuning uchun suv katلامи yon sirti egriligining kichiq radiusi shishalar orasidagi masofa  $\zeta$  ning yarmiga teng deb hisoblansin.

12.37. Glitserin kapillyar nayda 2 0 mm balandlikka ko'tarildi. Agar nay kanalining diametri 1 mm bo'lsa, glitserinning sirt tarangligi aniqlansin.

12.38. Kosachali simob barometrning shisha nayi kanalining diametri 5 mm. Bunday barometr bilan hisoblaganda atmosfera bosimnning tugri qiymatini olish uchun qanday tuzatma kiritish kerak?

12.39. II simon nay tirsaklaridagi suyuqlik satxlarining farqn 23 mm. Nay tirsaklari kanallarining diametrlarn 1 va 2 lar mos ravishda 2 va 0,4 mm ga teng. Sukjlikning zichligi 0 ,8 g /sm<sup>3</sup>. Suyuqlikning sirt taraiglik koeffntsienti aniq-

lansin.

12.40. Ichki diametrлари 0,05 см ва 0,1 см бо’лган иккита тик капилляр нат ташкиннига тушрилган. Натлардаги суюзлик сатхарининг фарқи 11,6 мм. Суюзликнинг зичлигি 0,8 г /см<sup>3</sup>. Суюзликнинг сирт таранглик коеффициенти топилсин.

12.41. Ichki kanalining diametri 1 mm бо’лган шаша нат сувга жуда оз чуко’рликка ботирилган. Натга кирган сувнинг масаси топилсин.

12.42. Diametri 0,5 mm бо’лган капилляр нат сув билан то’лдирилган. Натнинг ташкиннига сув томчи ко’ринишидаги осилиб кольди. Бу томчанин радиуси 3 mm бо’лган шарнинг бир қисми сифатида кабо’л килиш мумкин. Натдаги сув устуниниң баландлиги топилсин.

12.43. й симон симоб манометри кеиг тирсагининг диаметри 4 см, ториники 5 см. Тирсаклардаги симоб сатхарининг фарқи  $D_L = 200$  mm. Капиллярлик тузатмасини исобга олиб манометр ко’рсатайотган босим топилсин.

12.44. Агар ораларидаги масофа 0,2 mm бўя, о’заро паралел бо’лган иккита шаша пластинка орасидаги сув қандай баландликка ко’тарилади?

**Pанжара параметрларини ва қаттиқк жишлорга ишилган сийдимларини исоблашга доир масалалар яхшиш.**

12.45. Кесими о’згарувчан бо’лган горизонтал рашнада юйлашган сувдан сув оғмоқда. Сувнинг кенг қисмидаги сувнинг тезлиги 20 см/с. Сувнинг диаметри 2 кенг қисминиң диаметри да 1,5 мартага кичиқ бо’лган тақдимадаги тезлик аниqlansin.

12.46. Горизонтал юйлашган сувнинг кенг қисмидан нефтъ

2 m/s tezlik bilan oqmoqda. Agar quvurning keng va tor qismlaridagi bosimlar farqi 6,65 kPa bo'lsa, neftning quvurning tor qismidagi tezligi aniqlansin.

12.47. Ko'ndalang kesimining yuzasi 20 sm bo'lgan gorizontall ravishda joylashgan quvurdan suyuqlik oqmoqda. Quvurning bir joyida kesimining yuzasi 12 sm<sup>2</sup> bo'lgan torayish bor. Quvurning keng va tor qismlaridagi manometrik naychalar-dagi sathlar farqi 8 sm. Suyuqlikning hajmiy sarfi fuaniqlansin.

12.48. Nasos gorizontal tsilindrining diametri 20 sm. Unda 2 sm diametrli teshikdan suvni xaydagancha 1 m/s tezlik bilan porshenъ harakatlanadi. Suv teshikdan qanday Ug tezlik bilan oqib chiqadi? Suvning tsilindrini ortiqcha bosimi qanday bo'ladi?

12.49. Gorizontal joylashgan doripurkagich porshenniga 15 N kuch qo'yilgan. Agar porshenning yuzasi 12 sm<sup>2</sup> bo'lsa, doripurkagichning uchligidan suvning oqib chiqish tezligi aniq-lansin.

12.50. SHamolning devorga bosimi 200 Pa. Agar shamol devorga tik ravishda esayotgan bo'lsa, uning tezligi aniqlansin. Havoning zichligi 1,29 kg/m .

12.51. Diametri 2 sm bo'lgan, 10 m/s tezlik bilan harakatlanayotgan suv oqimi oqimga tik qo'yilgan harakatsiz yassi sirtga uriladi. Suv zarralarining sirtga urilgandan keyingi tezligini nolga teng deb hisoblab, suv oqimining sirtga bosim kuchi topilsin.

12.52. Balandligi 1,5 m bo'lgan bak suv bilan limmo-lim qilib to'ldirilgan. Bakning yuqorii chegarasidan 1 m masofada kichik diametrli teshik xosil bo'ladi. Teshikdan chiqadigan suv

oqimi polga bakdan qancha masofada tushadi.

12.53. Yer sirtidan 2 m balandlikda joylashgan rezina ichakning uchligidan ko'ndalang kesimining yuzasi  $4 \text{ sm}^2$  bo'lган suv gorizontal yunashda oqib chiqadi va 8 m masofada yerga tushadi (12.3 -raem). Agar rezina ichak ko'ndalang kesimining yuzasi ; 2 3 - raem  $50 \text{ sm}^2$  bo'lsa, suv harakatiga havo qarshiligini inobatga olmay, suvning rezina ichakka qo'shimcha bosimi topilsin.

12.54. Balandligi 2 m bo'lган bak suyuqlik bilan limmolim to'ldirilgan. Otilib chiqadigan suyuqlik oqimi bakdan eng uzok masofada tushishi uchuy bak devoridan ochilgan teshik qanday balandlikda bo'lishi kerak?

12.55. Suv diametri 50 sm bo'lган yumaloq sillik quvurdan o'rtacha 10 sm/s tezlik bilan oqmoqda. Quvurdagi suyuqlik oqimi uchun Reynold soni aniqlansin va suyuqlikning oqish harakteri ko'rsatilsin.

12.56. Quvurdan mashina yog'i oqmoqda. Yog'ning bu quvurdagi harakati laminar bo'lib qoladigan maksimal tezlik 3,2 sm/s. SH u quvurning o'zida qanday tezlikda glitseriniing harakati laminarlikdan turbulentlikka o'tadi?

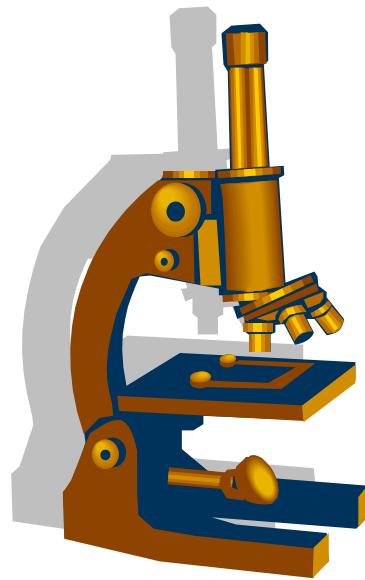
12.57. Ichki diametri 3 sm bo'lган quvurdan suv oqmoqda. Laminar oqimda suvning maksimal sarfi aniqlansin.

12.58. Kanakunjut moyida 1 sm diametrli mis sharcha O'zgarmas tezlik bilan tushmokda. SHarcha tushishi natijasida vujudga kelgan moy harakati laminar bo'ladimi? Reynolds sonining kritik qiymati 0,5 .

12.59. Diametri 0,5 bo'lган jez sharcha glitserinda tushmokda. 1) SHarchaning barkaror harakatining tezligi ; 2) shu tezlikda sharcha atrofndan aylanib okish laminarmi yoki yo'qligi aniqlansin.

12.60. 2 ,4 mm radiusli sharchaning kanakunjut moyidagi harakatida sharchaning vi tezligi 10 sm/s dan oshmaganida laminar aylanib oqish kuzatiladi. 1 mm radiusli sharchaning glitserndagi qanday minimal tezligida aylanib oqish turbulent bo'ladi?

## **LABORATORIYA MASHG'ULOTI**



## SO'Z BOSHI

Hozirgi kunda fan va texnikani jadal rivojlanishi oliy o'quv yurtlarning talabalarini tabiatdagi fizik qonuniyatlarini to'la qonli tushunishlarini shart qilib qo'ydi. Ma'lumki, fizik qonuniyatlarini o'rganishni eng asosiy omillaridan biri bu fizik praktikum hisoblanadi. Chunki laboratoriya ishlarini bajarish orqali tabiat hodisalarini tushuntiruvchi fizik qonunlarini bevosita tekshirib ko'rish mumkin. Yuqoridagilarni nazarda tutgan holda, ushbu ko'rsatmada umumi fizika kursining molekulyar fizika va termodinamika bo'limida o'rganiladigan asosiy fizik parametrlarni aniqlashni talaba yoshlarga o'rgatishni maqsad qilib yozilgan laboratoriya ishlari bayon etilgan. Shu bilan birga uslubiy ko'rsatmadagi har bir laboratoriya ishida o'rganiladigan parametr yoki xarakteristikalarini aniqlovchi nazariy ma'lumotlarni berishda talabalarni o'zlashtirishlarini hisobga olib murakkab nazariy tahlillarni, tushunarli bo'ladigan sodda holda berishga harakat qilingan.

Fizikani o'rganishda eksperiment muhim o'rinni tutadi. Fizikaviy qonuniyatlar tajribada aniqlanadi va tajriba orqali tekshiriladi. Talabalar fizika laboratoriyalarida asosiy fizikaviy hodisalarini o'rganadilar va ularni analiz qilish usullari bilan tanishadilar.

Umumi fizika kursidan praktikum o'tkazishning quyidagi maqsadlarini belgilab olish mumkin:

- bo'lajak fiziklarga asosan fizikaviy qonunlarni va hodisalarini chuqurroq o'zlashtirishlariga yordamlashish;
- talabalarni ilmiy tekshirish ishlariga ijodiy yondashishga, eksperimental usulni to'g'ri tanlay bilsishga, fizikaviy kattaliklar qiymatlarini o'lchashga va ularni formulalar vositasida tekshirishga o'rgatish.
- zamonaviy asbob-uskunalar hamda fizikaviy o'lchash natijalarini matematik jihatdan ishlab chiqish usullari bilan tanishtirish ko'zda tutiladi.

Bu umumi maqsad fizika praktikumida talabalarining bilim darajasidagi va praktikumning asbob-anjomlar bilan ta'minlanganlik darajasiga qarab, har bir konkret holda turlicha yo'llar bilan amalga oshiriladi.

Fizika praktikumida talabalar oldiga qo'yiladigan masalalar umumi ko'rinishda quyidagi uch xil variant mumkin:

- 1) fizikaviy kattalikni o'lchashning eng maqbul usuli va o'lchash asboblari kompleksi talabaga ko'rsatib beriladi;
- 2) o'lchash usuli ko'rsatiladi, lekin o'lchash uchun kerakli asboblarii talabaning o'zi tanlaydi;
- 3) talabaga muayyan fizikaviy kattalikni ko'rsatilgan aniqlik bilan o'lchash topshiriladi. Qo'yilgan masalani eng yaxshi hal qilishga imkon beruvchi usulni va o'lchash asboblari kompleksini talabaning o'zi tanlaydi.

Fizika praktikumining o'z oldiga qo'yilgan asosiy maqsadlaridan biri - muayyan o'lchash usulini va o'lchash natijalarini to'g'ri tahlil va talqin qilishga o'rgatishdir.

Eksperimentda olingan ma'lumotlar hamma vaqt biror xatolikka ega bo'ladi.

Bu xatolikning yuzaga kelishiga, asosan, tajriba sharoiti, o'lchash usulining va fizikaviy asboblarning nomukammalligi sabab bo'ladi. O'lchash xatoligi ko'rsatib berilgandagina o'lchash natijasi, ya'ni olingan ma'lumotlar muayyan ma'no kasb eta boshlaydi. Mana shunday tarzda ishlangan eksperiment natijasini nazariy ma'lumotlar yoki jadval ma'lumotlari bilan taqqoslab ko'rish mumkin.

Xatoliklarni aniqlashning ko'rsatmada bayon qilingan usullarini o'zlashtirib olishning o'zi eksperimental topshiriqni muvaffaqiyatli yakunlash uchun yetarli emas. Gap shundaki, xatolikni hisoblashning qator usullari ichidan konkret tajribaning fizikaviy mohiyatini to'gri va yaqqol olib beradiganini tanlay bilish juda muhimdir. Bu ijodiy jarayon talabidan muayyan eksperimental o'quvni, sinchkovlikni, mantiqiy tahlil malakasini taqozo qiladi. Dastlab talabalar bilim darajalariga ko'ra bunday masalani mustaqil hal qilish imkoniga ega emaslar. Shuni nazarda tutib, ushbu ko'rsatmaga kiritilgan laboratoriya ishlarining har birida o'lchash natijalarini ishlashda va ularning aniqligini baholashda qo'llanilishi lozim bo'lgan usul ko'rsatiladi. Ba'zi hollarda, konkret biror ishda olingan o'lchash natijalarini ko'rsatmada ko'rsatilgan usulda ishlash bilan bir qatorda, o'qituvchi tomonidan ko'rsatilgan biror boshqa usulda ham ishlash mumkin. Shuning bilan birga, muayyan hollarda, konkret natijalarni u yoki bu maqbul usul bilan ishlashni talaba tomonidan tavsiya qilinishi istisno qilinmaydi.

Ko'rsatmaga kiritilgan ishlar moddaning kinetik nazariyasiga, gazlar va suyuqliklardagi ko'chish hodisalariga, suyuqliklardagi sirtiy hodisalarga, moddalarning fazaviy o'tishlariga, gaz, suyuqlik va qattiq jismlarning issiqlik sig'implariga va termodinamikaga taalluqlidir. Har bir laboratoriya ishining bayoni quyidagi qismlardan tashkil topgan:

1. Kerakli asbob va materiallar.
2. Qisqacha nazariy kirish. Bu qism o'rganilayotgap hodisa yoki aniqlanayotgan kattalikka oid eng zarur nazariy ma'lumotlarni o'z ichiga oladi.
3. Usulnnig nazariyasi.
4. Eksperimental qurilmaning bayoni.
5. O'lchashlarni bajarish tartibi va olingan eksperimental ma'lumotlarni ishlash usulikasi.
6. O'z-o'zini nazorat qilishga, hodisa nazariyasini, eksperimental usulni va o'lchash xatoliklarini chuqur tahlil qilishga yordamlashuvchi savollar.

Mualliflar ushbu ko'rsatmani tuzishda, Mirzo Ulug`bek nomidagi O`zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakul'tetida, Namangan davlat universiteti Fizika-matematika fakul'tetida umumiy fizika praktikumini tashkil qilish va o'tkazish borasida yig'ilgan professor-o'qituvchilarining ko'p yillik tajribasidan foydalanib va zamonaviy ma'lumotlar asosida laboratoriya ishlarini aks ettirishga harakat qildilar.

Ishonamizki, mazkur uslubiy ko'rsatma oliy o'quv yurti talabalarining fizika kursini o'zlashtirishlarida o'ziga xos hissa qo'shamdi.

Mualliflar.

## Xatolik turlari

Har qanday o'lchashlar hamma vaqt qandaydir xatoliklar bilan bajariladi. Bu xatoliklar ikki guruhg'a – muttasil va tasodify xatoliklarga bo'linadi.

1. Muttasil xatolik - hamma vaqt mavjud bo'ladigan xatolikdir. Asbobning noto'g'ri o'rnatilishidan va o'lhash usulining noto'g'ri tanlanishidan kelib chiqadigan xatoliklar muttasil xatoliklardir. Bu xatoliklar ba'zi tashqi omillar ta'sirida, masalan, chizg'ich shkalasining notejis darajalanishidan termometr nolining haqiqiy nol temperaturaga mos kelmasligi, termometr kapilyari kesim yuzining kapilyar bo'yicha bir xil bo'lmasligi, ampermetrdan elektr toki o'tmagan vaqtda uning milining shkala noliga mos kelmasligi va boshqalar tufayli paydo bo'ladi. Suyuqlik va gazning xajmini o'lhashda temperatura o'zgarishi sababli ularning xajmiy kengayishi; massani o'lchaganda o'lchanayotgan jismga, tarozi toshlariga havo tomonidan ta'sir etuvchi itarib chiqarish kuchi ta'sir qilishini va kalorametrik o'lhashlarda asbobning tashqi muhit bilan issiqlik almashinishini hisobga olmaslik tufayli muttasil hatolikka yo'l qo'yiladi.

Ba'zi bir fizik kattaliklar qiymatini jadvaldan olganda ularni yaxlitlaganda, shuningdek formulaga kiruvchi ba'zi doimiylarning taqrifiy qiymatlarini olganda muttasil hatolikka yo'l qo'yiladi. Masalan,  $\pi = 3,14159265$  deb olish o'rniga  $\pi = 3$ ;  $\pi = 3,14$  deb, suvning sindirish ko'rsatgichi uchun  $n = 1,333$  deb olish o'rniga  $n = 1,3$ ;  $n = 1,33$  deb olsak ham biz har safar muttasil hatolikka yo'l qo'ygan bo'lamic. Muttasil xatolik aniq sabablar tufayli yuz berib, uning kattaligi takroriy o'lhashlarda o'zgarmas bo'lishi yoki muayyan qonun bo'yicha o'zgarishi mumkin. O'lhash usulini o'zgartirib, asbobning ko'rsatishlariga tuzatishlar kiritib muttasil ravishda ta'sir qiluvchi tashqi omillarni hisobga olish bilan bu hatolikni kamaytirish mumkin.

2. Tasodify xatoliklar - oldindan hisobga olinishi qiyin bo'lgan va har bir o'lhashga ta'siri xar hil bo'lgan tasodify sabablarga ko'ra yuz beradigan xatoliklardir. Masalan, elektr o'lhashlarda elektr tarmoqdagi kuchlanishning o'zgarishi, plastinka qalinligini o'lchaganda qalinlikni hamma joyda bir hil bo'lmasligi, o'lhashlarda asbob shkalasining etarlicha yoritilmasligi, asboblarning stol ustida yaxshi joylashtirilmasligi, sezgi a'zolarimizning tabiiy nokomilligi oqibatida tasodify xatolikka yo'l qo'yamiz. Ayrim o'lhashdagi tasodify xatolikni yo'qotib bo'lmasada, tasodify hodisalar to'g'risidagi matematik nazariyadan foydalaniib, bu xatolikni o'lhash natijasiga ta'sirini kamaytirish va xatolik kattaligini hisoblash uchun ma'qulroq bo'lgan ifodani aniqlash mumkin.

Muttasil va tasodify xatoliklardan tashqari yana qo'pol xatoliklar ham bo'ladi. Qo'pol xatolik kuzatish va o'lhashlar noto'g'ri bajarilishi tufayli yuz beradi. Bu xatolik shkala bo'yicha beparvo hisob olishdan, natijalarni pala- partish yozishdan kelib chiqadi. Bunday qo'pol xatolikni yo'qotish uchun yozilganlarni qayta qarab chiqib, o'lhashlarni qayta bajarish kerak. Har qanday o'lhashda qo'pol xatolikni yo'qotishning birdan-bir usuli – o'lhashni juda puxtalik va e'tibor bilan qayta bajarishdir. O'lhash davomida o'lhash asbobi beradigan xatolikdan boshqa xar hil muttasil xatoliklar va qo'pol xatoliklar yo'qotilgan deb faraz qilib, bevosita o'lhash xatoliklari nazariyasining asosiy qoidalalarini qarab chiqamiz. Quyida keltiriladigan xatoliklar nazariyasida tasodify xatoliklar son qiymat jihatidan muttasil xatoliklardan katta deb faraz qilingan.

## Fizik kattalikning o'rtacha qiymati. Mutlaq va nisbiy xatoliklar

iror fizik kattalikning o'lchashlar natijasida topilgan  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  qiymatlarini

$$\text{ichida haqiqiy qiymatga eng yaqini ushbu } X \approx \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

(1) ifodadan aniqlanadi, bu erda  $n$  - o'lchashlar soni.

O'lchash vaqtida topilgan qiymatlar bir-biridan farqli bo'lib, ularning o'rtacha qiymatdan farqi ayrim o'lchashning mutlaq xatoligi deyiladi. Qaysi o'lchashning mutlaq xatoligi kichik bo'lsa, shu o'lchash aniqroq bajarilgan deb hisoblanadi. O'rtacha qiymatdan katta farq qiluvchi qo'pol xatoliklar xatolikni hisoblash vaqtida tushirib qoldiriladi.

Agar  $n$  ta takroriy o'lchash natijasida  $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \dots, \Delta X_n$ , mutlaq xatoliklar yuz bergan bo'lsa, o'lchashlarning o'rtacha mutlaq xatoligi shu xatoliklar mutlaq qiymatlarining o'rtacha arifmetik qiymatiga tengdir.

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n} \quad (2)$$

Tabiiyki, fizik kattalikning haqiqiy qiymati topilgan o'rtacha qiymatdan  $\pm \Delta \bar{X}$  qadar farq qiladi, ya'ni:

$$X = \bar{X} \pm \Delta \bar{X} \quad (3)$$

O'lchashlar soni nega shunday tanlanganligi talabani qiziqtirishi mumkin. Biroq ba'zi bir hollarda o'lchash natijasiga ta'sir qiluvchi tashqi omillar o'lchashlar sonini etarlicha katta qilib olganda ham fizik kattalikning o'rtacha mutlaq xatoligini o'lchash asbobi kiritadigan xatolikdan kichraytirishga imkon bermaydi. Bunday hollarda o'lchashlar soni laboratoriya sharoiti bilan belgilanib, aniqlayotgan kattalikning xatoligi uchun o'lchashning o'rtacha mutlaq xatoligini olishga to'g'ri keladi. Agar tajriba vaqtida bir qator fizik kattaliklarni o'lchash zarur bo'lsa, ularning har biri uchun o'lchash xatoligini aniqlash kerak bo'ladi. Biroq har bir kattalikka oid mutlaq xatolikni bilganimiz holda kattaliklar bir jinsli bo'lmasligi sababli ularni o'zaro solishtirish mumkin emas. Bunday hollarda hatolikni *nisbiy qiymati* bilan ish ko'rish lozim. Biror kattalikning o'lchashlar natijasida topilgan o'rtacha qiymati  $\bar{X}$ , mutlaq xatolikning o'rtacha qiymati  $\Delta \bar{X}$  bo'lsa, nisbiy hatolik  $E = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}}$  yoki foizlarda ifodalasak,  $E = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\%$  bo'ladi. Masalan, stol qirrasining uzunligi chizg'ichda 0,002 m mutlaq xatolik bilan yorug'lik to'lqinining uzunligi esa  $2 \cdot 10^{-8}$  m mutlaq xatolik bilan o'lchanigan bo'lsa, stol qirrasining va yorug'lik to'lqini uzunligining muayyan qiymatlarida ( $l=1$  m,  $\lambda=6 \cdot 10^{-7}$  m) o'lchashlarning nisbiy xatoliklari quyidagicha bo'ladi.

$$E = \frac{\Delta l}{l} 100\% = 0,2\% \quad E = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} 100\% = 3,3\%$$

Demak, yorug'lik to'lqini uzunligi stol qirrasi uzunligiga nisbatan taxminan 16 marta kattaroq xatolik bilan o'lchangan ekan.

## Funksiya xatoliklarini differentsiyal usul yordamida hisoblash

Bir qator hollarda biror  $Y$  fizik kattalikni aniqlash uchun  $Y=f(X)$  qonun orqali bog'langan  $X$  ni o'lhash kerak bo'ladi.  $X$  ni qator o'lhashlarda o'lhash asbobi kiritgan muttasil xatoliklar hamda tashqi omillar ta'sirida yuz bergan tasodifiy xatoliklar orqali  $Y$  kattalik funktsiyani xatoligi baholanadi. Bunday hollarda differentsiyallash qoidalari asosida maksimal mutlaq xatolikning va unga mos maksimal nisbiy xatolikni hisoblash uchun ifodalar olish mumkin. Agar  $X$  ni o'lhashdagi xatolik  $\Delta X$ , bo'lsa,  $Y$  ning mutlaq xatoligi  $\Delta Y$  taqriban ushbuga teng.

$$|\Delta Y| \approx |dY| = |f'(X)| |\Delta X| \quad (4)$$

Bunda  $|\Delta X|$  kattalik  $X$  ni o'lhashda yo'l qo'yilgan xatolikning mutlaq qiymati. Bunday fizik mazmunni nazarga olsak,

$$\Delta Y = f'(X) \Delta X \quad (5)$$

bo'ladi, ya'ni  $Y$  kattalik  $Y \pm \Delta Y$  oraliqda joylashgandir.

Ko'p hollarda tajribada biror kattalikni aniqlash uchun shu kattalik bilan muayyan qonuniy bog'lanishda bo'lgan ikki va undan ortiq fizik kattaliklarni bevosita o'lhash va demak, aniqlanishi kerak bo'lgan kattalikning xatoliiklarini bevosita o'lchanuvchi kattaliklarning xatoliklari orqali aniqlash zarur bo'ladi. Bu vazifa ham differentsiyal usullar asosida hal qilinadi. Matematika tili bilan aytganda ko'p argumentli ushbu

$$Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (6)$$

funktsiyaning mutlaq va nisbiy xatoliklarini aniqlash lozim. Buning uchun argumentlar orttirmalari qiymatlarining funktsiyaning shu argument bo'yicha hosilasi mutlaq qiymatiga tegishlicha ko'paytmalari yig'indisi aniqlanadi. U funktsiya orttirmasining mutlaq qiymatiga teng bo'ladi:

$$\Delta Y = \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_1} \Delta X_1 \right| + \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_2} \Delta X_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_n} \Delta X_n \right| \quad (7)$$

Bunda  $\frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_1}, \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_2}, \dots, \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_n}$  funktsiyaning xususiy

differentsiyallari. Argument orttirmalarining mutlaq qiymatlari  $|\Delta X_1|, |\Delta X_2|, \dots, |\Delta X_n|$ , bevosita o'lchanadigan fizikaviy kattaliklarning mutlaq xatoliklarini aks ettiradi. Funktsiyani differentsiyallash vaqtida argumentlar orasidagi turlicha bog'lanish

xarakterlari tufayli musbat va manfiy ishorali hadlar hosil bo'ladi. Xatoliklar nazariyasining, o'lhash jarayonida sodir bo'luvchi xatoliklar qo'shiladi, degan qoidasiga binoan biz yuqorida murakkab funktsiya differentsiyal ifodasida hamma hadlarning mutlaq qiymatlarini oldik. Aniqlanuvchi kattalikning to'la xatoligi ayrim o'lhashlarning xatoliklari asosida belgilanganidek har bir bevosita o'lhashda yo'l qo'yiladigan xatolikntng umumiy xatolikka qo'shadigan xissasini bilish muhimdir. Agar o'lchanuvchi har bir kattalik xatoligining xissasini bilsak bu kattalikni o'lhashda ishlatiladigan asboblarga muayyan talablar qo'ya olamiz, shuning bilan birga, bu o'lhashni necha marta takrorlash kerakligini belgilab olishimiz mumkin. Ikkinchи tomondan, ba'zi kattaliklarni o'lhashda ortiqcha aniqlikka intilish zaruriyati bo'lmay qoladi.

### **Eng kichik kvadratlar usuli**

Oldingi hollarda bevosita o'lchanayotgan yoki bilvosita aniqlanayotgan kattalik bir qator ketma-ket o'lhashlarning hammasida ham o'zgarmasdan turar edi. Ammo o'lchanayotgan kattalikka ta'sir qiluvchi boshqa kattaliklarni o'lhash jarayonida o'zgarishi tufayli uning o'zi ham o'zgarib qoladigan hollar uchrab turadi. bunday hollarda o'lhashning maqsadi izlanayotgan kattalikning boshqa kattaliklar bilan funksional bog'lanishi eng yaxshi qanoatlantiruvchi qonunni aniqlashdan iborat bo'ladi. Gaz zichligining bosimga, suyuqlik qovushqoqligining temperaturaga va matematik tebrangich tebranish davrining uning uzunligiga bog'lanishini aniqlash va boshqalar shunday o'lhashlarga misol bo'ladi. Bunday o'lhashlar ham tasodifiy o'lhashlarga ega, chunki kuzatish natijalarida statistik chetlanishlar mavjud bo'lib, ular o'zgaruvchan "haqiqiy" qiymatga nisbatan chetlanishlarni beradi.  $X$  o'lhash natijasidan  $Y$  izlanayotgan kattalikning bir necha qiymatlari topiladi-ki, bular to'g'ri burchakli koordinata tekisligidagi nuqtalar koordinatasidan iboratdir. Agar bu nuqtalarni ketma-ket bir-biri bilan tutashtirsak, siniq chiziq hosil bo'lib, u biz izlayotgan  $Y=f(x)$  bog'lanishni aks ettirmaydi. Maqsad tajribaviy nuqtalardan foydalanib,  $Y=f(x)$  haqiqiy bog'lanishni ifodalovchi chiziqnini hosil qilishdir. Ehtimollik nazariyasining ko'rsatishicha, bunday chiziq uchun nuqtalardan chiziqqacha tushirilgan tik chiziqning uzunligi bilan aniqlanuvchi masofa kvadratlarining yig'indisi minimal bo'lishi kerak. Bu usul *eng kichik kvadratlar* usuli deb ataladi. Bu usulning mohiyati quyidagicha: nazariy mulohazalarga asosan matematik tebrangich davrining kvadrati uning uzunligiga tug'ri mutanosib, deyish mumkin. Shuning uchun tajribadan olingan nuqtalarning eng yaxshi qanoatlantiruvchi chiziq tug'ri chiziqdan juda kam farq qilishi kerak. Agar nuqtaning abstsissasini  $X_1$  deb, ordinatasini  $Y_1$  deb belgilasak, u holda izlanayotgan to'g'ri chiziq tenglamasi

$$Y_1 = a + bX_1 \quad (8)$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu (8) izlanayotgan to'g'ri chiziq tenglamasini eng kichik kvadratlar usuli bo'yicha aniqlash quyidagicha bajariladi: ordinatasi  $Y_1$  ga teng bo'lgan nuqtalardan izlanayotgan to'g'ri chiziqqacha ordinatalar o'tkazamiz. Bu to'g'ri chiziq

ordinatalarning qiymati  $a+bX_i$  ga teng. Nuqtadan ordinata bo'yicha to'g'ri chiziqqacha bo'lgan masofa esa  $(a+bX_i - Y_i) = \varepsilon_i$  ga teng.

Agar bunday masofalar kvadratlarinnig yig'indisi eng kichik, ya'ni

$$\sum_{i=1}^n (a + bX_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min$$

(9)

bo'lsa, to'g'ri chiziq biz izlayotgan to'g'ri chiziqqa eng yaqin keluvchi chiziq bo'ladi, deb faraz qilish mumkin. Bu yig'indining minimumi differentsial qoidalariga asosan topiladi. (9) tenglamadagi  $a$  va  $b$  koeffitsientlar o'zgaruvchan kattaliklar bo'lib, ular uchun shunday qiymatlarni aniqlash kerakki, bu qiymatlar (9) ni to'la qanoatlantirsin. Buning uchun (9) dan  $a$  va  $b$  o'zgaruvchilar bo'yicha xususiy xosilalar olib, ularni nolga tenglashtirsak

$$\begin{aligned}\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} &= \sum_{i=1}^n (a + bX_i - Y_i) = 0, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial b} &= \sum_{i=1}^n (a + bX_i - Y_i)X_i = 0\end{aligned}$$

ifodalarni olamiz. Bularni shunday yozish mumkin.

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n (a + bX_i - Y_i) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (a + bX_i - Y_i)X_i &= 0\end{aligned}$$

Yig'indi ichidagi qavsnı ochib chiqsak

$$\begin{aligned}na + b\sum_{i=1}^n X_i &= \sum_{i=1}^n Y_i, \\ a\sum_{i=1}^n X_i + b\sum_{i=1}^n X_i^2 &= \sum_{i=1}^n Y_i X_i\end{aligned}\tag{10}$$

(10) ifodani (8) boshlang'ich tenglamaning *normal tenglamalari* deyiladi.

Bu normal tenglamalar muayyan usul bo'yicha tuziladi. (10) ko'rilib turibdiki:

1) ning  $a$  uchun yozilgan normal tenglamsini hosil qilish uchun (8) boshlang'ich tenglamani har birining chap va o'ng tomonlarini  $a$  ning oldida turgan koeffitsientga ko'paytirib, hosil bo'lgan tenglamalarni yig'ib chiqish kerak.

2) (10) ning  $b$  ga tegishli normal tenglamasini hosil qilish uchun huddi oldingiga o'xshash (8) ning chap va o'ng tomonining  $b$  ning oldidagi koeffitsientga ko'paytirib, hammasini yig'ib chiqish kerak. Bu normal tenglamalardan foydalaniib (8) boshlang'ich tenglamadagi noma'lum  $a$  va  $b$  koeffitsientlarni aniqlash mumkin. Bu noma'lum koeffitsientlarni aniqlash usullari hilma-hildir. (10) dan  $a$  ni aniqlash uchun birinchi yo'lga  $b$  ning normal tenglamasini yozamiz, ikkinchi yo'lni bo'sh qoldirib, uchinchi yo'lga  $a$  ga tegishli normal tenglamani yozamiz. Bo'sh qoldirilgan ikkinchi yo'lga  $b$  ning normal tenglamasini  $b$  oldidagi  $\sum_{i=1}^n X_i^2$  koeffitsientga bo'lishdan hosil bo'ladijan tenglamani yozamiz. Ikkinci yo'lagini tenglamani  $b$  ning normal tenglamasidagi  $a$  ning

koeffitsienti  $\sum_{i=1}^n X_i$  ga ko'paytirishdan hosil bo'ladi gan tenglama to'rtinchi yo'lga yoziladi. Aytilganlarni bajarib ko'raylik:

$$\begin{aligned} a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 &= \sum_{i=1}^n X_i Y_i, \\ \frac{a \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} + b &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}, \\ na + b \sum_{i=1}^n X_i &= \sum_{i=1}^n Y_i, \\ \frac{a \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} + b \sum_{i=1}^n X_i &= \frac{a \sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \end{aligned}$$

Agar uchinchi tenglamadan to'rtinchi tenglamani ayirsak,

$$a \left( n - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \right) = \sum_{i=1}^n X_i - \frac{a \sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

Tenglik hosil bo'ladi, bundan izlanayotgan  $a$  koeffitsient topiladi:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{n - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{P_a} \quad (11)$$

$a$  ning oldidagi  $R_a$  koeffitsientga  $a$  ning *statistik vazni* deb ataladi.  $b$  ni aniqlash uchun birinchi yo'lga  $a$  normal tenglamasini yozamiz.  $a$  uchun yozilgan birinchi yo'ldagi tenglamani  $a$  ning oldidagi  $n$  koeffitsientga bo'lishdan hosil qilingan tenglamani bo'sh qoldirilgan ikkinchi yo'lga yozamiz.  $a$  ning normal tenglamasidagi  $b$  ning koeffitsienti  $\sum_{i=1}^n X_i$  ga ikkinchi yo'ldagi tenglamani ko'paytirishdan hosil bo'ladi gan tenglama to'rtinchi yo'lga yoziladi. Aytilganlarni bajarsak:

$$\begin{aligned}
an + b \sum_{i=1}^n X_i &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
a + \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n X_i &= \frac{1}{n} Y_i \\
a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 &= \sum_{i=1}^n X_i Y_i \\
a \sum_{i=1}^n X_i + \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n X_i &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{n}
\end{aligned}$$

Uchinchi yo'ldan to'rtinchi yo'lni hadma-had ayirsak:

$$b \left( \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i \right) = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Bundan izlanayotgan b koeffitsient

$$b = \frac{\left( \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n} \right)}{\left( \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i \right)} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{n}}{P_b} \quad (12)$$

ga tengligi kelib chiqadi.  $b$  oldidagi  $P_b$  koeffitsient  $b$  ning *statistik vazni* deb ataladi. (10) bilan ifodalanufchi normal tenglamalar tizimini birgalikda echib,  $a$  ni aniqlashda unig normal tenglamasi ustida hech qanday matematik amal bajarilmaydi,  $b$  ning normal tenglamasi ustida hech qanday matematik amal bajarilmaydi,  $b$  ning normal tenglamasi ustida esa bo'lish va ko'paytirish amallari bajariladi. Aksincha,  $b$  yni aniqlashda uning normal tenglamasi o'zgarishsiz qoldirilib,  $a$  ning normal tenglamasi ustida bo'lish va ko'paytirish amallari bajariladi. (10) tenglamalarning echimlari (11) va (12) dan iborat. Ulardan aniqlangan  $a$  va  $b$  ni (8) ga qo'ysak, tajriba natijalaridan juda kam farq qiluvchi izlanayotgan  $Y_i^* = a + bX_i$  to'g'ri chiziq tenglamasi topiladi. Xatoliklar nazariyasi  $a$  va  $b$  noma'lumlarni aniqlashdagi xatoliklarni xisoblash uchun quyidagi ifodalarni beradi:

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{(n-k)P_a}} \quad \text{va} \quad \Delta b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{(n-k)P_b}}$$

bunda  $k$  – normal tenglama (10) dagi yoki boshlang'ich tenglama (8) dagi noma'lumlar — bizning misolimizda  $a$  va  $b$  lar soni ( $k=2$ ).

Ma'lumki, har qanday bog'lanish to'g'ri chiziqli bog'lanish bo'lavermaydi. Lekin ko'p hollarda murakkab bog'lanishlarga sodda almashtirishlar kiritish orqali bog'lanishni chiziqli ko'rinishga keltirish mumkin.

Masalan:

- 1) Agar  $Y=l+k/X$  bo'lsa, bundagi  $1/X$  o'rniga yangi  $Z$  o'zgaruvchi kiritsak,  $Y$  va  $Z$  orasidagi bog'lanish  $Y=l+kZ$  chiziqli ko'rinishga keladi.
- 2) Xuddi shuningdek, agar  $Y=ab^X$  ifodani logarifmlasak,  $\lg Y=\lg a+X \lg b$  bo'lib, undagi

$\lg Y$  va  $X$  orasidagi bog'lanish chiziqli ko'rinishga keladi.

- 3)  $Y=I/(a+bX)$  ifodada  $Y=I/Z$  deb almashtirsak,  $Z=a+bX$  hosil bo'ladi.
- 4)  $Y=a+b/X+c/X^2$  ifodada  $Z=I/X$  deb almashtirilsa, u holda  $Y=a+bZ+cZ^2$  bo'ladi.
- 5)  $Y=X/(a+bX+cX^2)$  ifodada  $Z=X/Y$  almashtirish bajarilsa,  $Z=a+bX+cX^2$  ifoda hosil bo'ladi.

## SUYUQLIKNING ICHKI ISHQALANISH KOEFFITSIENTINI STOKS USULIDA ANIQLASH

**Kerakli asbob va materiallar:** 1) taglikka o`rnatilgan va ichiga qovushqoq suyuqlik solingen shisha silindr qurilma 2) metall sharchalar to`plami 3) Zarrabin 4) sekundomer 5) temometr ( $0^\circ$  —  $50^\circ\text{S}$  da darajalangan) 6) shtangentsirkul 7) masshtab chizg'ich 8) shovun.

### USULNING NAZARIYASI

Shar shaklidagi qattiq jismlarning qovushqoq muhitdagi harakati vaqtida ta`sir qiladigan kuchning kattaligi Stoks formulasi orqali ifodalanadi:

$$F=6\pi\nu r\eta$$

Bunda  $\nu$  — sharchaning barqarorlashgan harakati tezligi,  $\eta$  — muhitning ichki ishqalanish koeffitsienti,  $r$  — sharcha radiusi.

Ifodadagi  $\nu$ ,  $r$ ,  $F$  kattaliklar tajribada etarlicha aniq o`lchanishi mumkinligidan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti  $\eta$  ni aniqlash imkonii kelib chiqadi. Shu usulga oid nazariy muloxazalar bilan tanishaylik.

Aytaylik muayyan  $r$  radiusli bir jinsli qattiq sharcha suyuqlikda erkin tushayotgan bo`lsin. Bu sharchaga  $pVg$  og`irlik kuchi, suyuqlikning  $p_cVg$  ko`tarish kuchidan tashqari harakatga qarama qarshi yo`nalishda  $6\pi\nu r\eta$  **Stoks kuchi** ta`sir qiladi. Bu erda  $\rho$  va  $\rho_s$  — mos ravishda sharcha va suyuqlik zichliklari,  $V$  — sharcha xajmi.

Sarchaning suyuqlik ichidagi harakatini ikki bosqichga ajratish mumkin, 1 bosqichda sharcha tezlanuvchan harakat qilib bu harakat davomida ta`sir qiluvchi yig`indi kuch kamaya boradi. Nihoyat, sharcha tezligining muayan qiymatida yig`indi kuch nolga teng bo`lib qoladi va 2 bosqichda sharcha doimiy tezlik bilan harakatlanadi. Tajribada sharchaning tezlanuvchan harakat vaqtini va demak, shunday harakatda bosib o`tadigan yo`lini bilish muhimdir. 1 bosqichdagi harakat tenglamasi Nyutonning ikkinchi qonuni asosida quyidagicha yoziladi:

$$Vg(\rho - \rho_c) - 6\pi\nu r\eta v = V\rho \frac{dv}{dt} \quad \text{yoki} \quad \frac{dv}{dt} = \frac{g(\rho - \rho_c)}{\rho} - \frac{6\pi\nu r\eta v}{V\rho}$$

(1)

(1) ifoda  $v$  ga nisbatan bir jinsli bo`lmagan chiziqli differentsiyal tenglamadan iborat. Buning echimi bir jinsli tenglamaning umumiy echimi bilan bir jinsli bo`lmagan tenglamaning xususiy echimi yig`indisidan iborat, ya`ni  $v = v_{ym} + v_x$

Ushbu echimlarni topaylik. Bir jinsli tenglama quyidagicha yoziladi.

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{6\pi\nu r\eta v}{V\rho} \quad \text{yoki} \quad \frac{dv}{v} = -\frac{6\pi\nu r\eta}{V\rho} dt \quad (2)$$

bunda  $\frac{6\pi\nu r\eta}{V_p}$  - kattalik o`zgarmas bo`lib, o`lchamligi vaqt o`lchamligini

teskarisiga teng. Uni  $\frac{1}{\tau}$  orqali belgilaymiz ya`ni.

$$\frac{6\pi\eta r}{V} = \frac{1}{\tau} \quad \text{bunda} \quad \tau = \frac{V\rho}{6\pi\eta r} \quad (3)$$

$\tau$  relaksaksiya vaqtini deyiladi. Agar sharcha xajmining ifodasini (3) ga qo`ysak,  $\tau$  uchun  $\tau = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \rho}{\eta}$  ifodani olamiz.

(2) bir jinsli tenglama relaksatsiya vaqtini orqali yozilsa,

$$\frac{dv}{v} = -\frac{dt}{\tau}$$

tenglama xosil bo`lib, uning echimi quyidagicha bo`ladi:

$$\ln v = -\frac{t}{\tau} + \ln C \quad \ln\left(\frac{v}{C}\right) = -\frac{t}{\tau}$$

bundan  $v_{YM} = C \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$  (4)

barqarorlashgan jarayon holida  $\frac{dv}{dt} = 0$  bo`lib bu xol uchun (1) ni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{g(p - p_c)}{p} = \frac{6\pi\eta r}{V\rho} v$$

bundan bir jinsli bo`lmagan tenglamaning xususiy echimini topiladi.

$$v_x = v_0 = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi\eta r}$$

(5) tenglama sharcha barqaror harakatining tezligini ifodalaydi. (4) va (5) larni (1") ga keltirib qo`yib, umumiy echimini aniqlaymiz

$$v(t) = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi\eta r} + Ce^{\frac{t}{\tau}} \quad \text{yoki} \quad v(t) = v_0 + Ce^{\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

boshlang'ich shartlaridan foydalanib, C ni aniqlash mumkin, sharchaning suyuqlik ichidagi harakati boshida, ya`ni  $t = 0$  da  $v(0) = v_0 + C$  bo`ladi, bundan

$$C = -[v_0 - v(0)] \quad (7)$$

(7) ni (6) formulaga qo`ysak, harakat tenglamasini echimi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$v(t) = v_0 - [v_0 - v(0)]e^{\frac{t}{\tau}} \quad (8)$$

sharcha tezligi (8) ga asosan barqarorlashgan harakat tezligi eksponentsiyal qonun bo`yicha  $v(t)$  ga yaqinlashadi.  $v_0$  barqaror harakat tezligi  $\tau$  relaksatsiya vaqtining kattaligi bilan aniqlanadi. Agar sharchaning tushish vaqtini relaksatsiya vaqtidan bir necha marta katta bo`lsa, tezlikning barqarorlashish jarayonini tugallangan deb qarash mumkin.

Sharchaning barqarorlashgan harakat tenglamasi (1) ga asosan quyidagicha yoziladi.

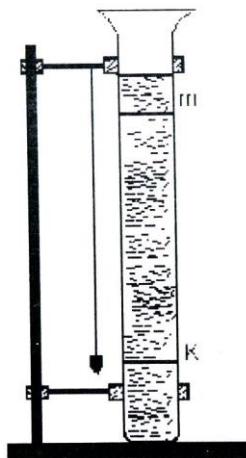
$$\begin{aligned} & Vg(\rho - \rho_c) - 6\pi\eta r v_0 = 0 \\ \text{bundan} \quad & \eta = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi r v_0} = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\rho - \rho_c}{v_0} \end{aligned} \quad (9)$$

Bu erdagiga  $\rho, \rho_c, v_0, r$  kattaliklar qiymatlarini bilgan xolda ushbu ifoda yordamida suyuqlikning ichki ishqalanish koefitsientini aniqlash mumkin.

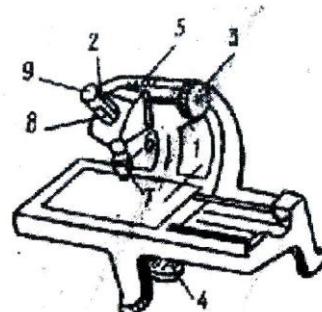
## Tajriba qurilmasi

Ichki ishqalanish koeffitsientini Stoks usulida aniqlashda ishlatiladigan qurilma (1-rasm) diametri 5 sm, uzunligi 80 sm bo`lgan shisha idishdan iborat bo`lib, unga tekshiriladigan suyuqlik (kastor moyi, glitserin) quyiladi. Tajribada ishlatiladigan sharchalarning diametrlari MIR tipidagi o`lchov zarrabini yordamida aniqlanadi. (2-rasm).

Zarrabin quyidagi qismlardan tashkil topgan: 1—buyum (predmed) stoli, 2 — mikroskop, 3 — mikrometrik vint, 4 —buyumni yorituvchi ko`zgu. Zarrabin mikrometrik vint vositasida siltilayotganda uning barabani xam aylanadi va 5 shkala ko`rsatkichi siljiydi. Xisob olish uchun zarrabin shkalasidan butun millimetrlarni, barabandan esa 0,1 va 0,01 mm ulushlari qaraladi. Buyum tasvirini fokslashda 6 — ob`ektiv xalqadan foydalilanildi. Ob`ektiv 7 ning fokal tekisligida joylashgan iplarning ravshan tasvirini xosil qilish uchun 8 xalqani maxkamlab qo`yib, 9 okulyar linzani burash lozim. Diametrlari o`lchanishi lozim bo`lgan sharchalarni joylash uchun laboratoriyada, odatda, maxsus o`yiqlarga ega bo`lgan shaffof plastinkalar taylorlab qo`yiladi.



1-rasm



2—rasm

## TAJРИBA SHAROITINING TAXLILIGA OID KO`RSATMALAR

1. Yuqoridagi (9) ifoda sharcha harakatlanadigan muhitning chegaralari cheksiz uzoqlashgan xollar uchungina o`rinlidir. Biroq laboratoriyada bunday sharoitni yaratib bo`lmaydi va sharcha harakatiga idish devorlarining ta`siri seziladi. Bunday xollarda quyidagi

$$\eta = \frac{2}{9} gr^2 \frac{(\rho - \rho_c)}{\left(1 + 2,4 \frac{r}{R}\right) \nu_0} \quad (10)$$

aniqroq ifodadan foydalanish lozim. Bu erda  $R$  — suyuqlik solingen silindrik idishning radiusi. (10) ifodadan ko`rinishicha, kichik diametrli sharchalar olinganda yuqoridagi ta`sir kamayadi.

2. Stoks formulasi sharcha bilan harakatlanuvchi qatlamning laminar ko`chishi uchungina o`rinlidir. Tajribada aniqlanadigan  $\nu_0, r, \eta$  kattaliklar sharchanining

harakat xarakterini tekshirish imkonini beradi. Xaqiqatdan xam, Reynol'ds soni

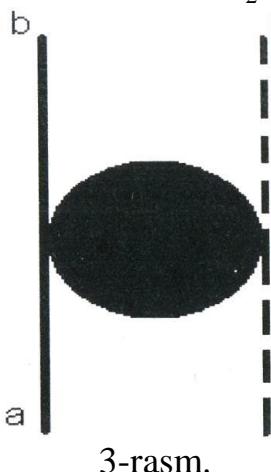
$$Re = \frac{\rho_c r v_0}{\eta} < 10$$

bo`lsa, suyuqlik qatlamlarining harakatini laminar harakat deb atash mumkin. Tajribada bunga ishonch xosil qilish lozim.

3. Yuqorigi tamg'a relaksatsiya masofasidan pastroqqa joylashtirilganligiga ishonch xosil qilish lozim. Relaksatsiya masofasi esa  $t \gg \tau$  shartda taqriban  $S \geq \tau v_0$  ifodadan hisoblanishi mumkin.  $\tau$  relaksatsiya vaqt esa (3) ifodadan aniqlab olinadi.

### O`lchashlar

1. Tajriba boshida tanlab olingan sharchalar shaffof plastinkaning o`yiqlariga joylashtirilgandan so`ng xar birining diametri o`lov mikroskopi yordamida aniqlab olinadi. O`lchov jarayonida okulyar vizirini sharcha chetlarida joylashtirish namunasi 3-rasmida ko`rsatilgan mikrometrning (ab) vaziyatga mos ko`rsatishini  $n_1$  ( $a'$   $b'$ ) vaziyatga mos keluvchi ko`rsatishini esa  $n_2$  desak, sharcha diametri  $d = n_2 - n_1$  bo`ladi.



- b                    b'    Xar bir sharcha diametri bir necha marta takroriy o`lchashlar o`rtachasi sifatida olinadi. Sharchalar uchun topilgan ma`lumotlar 1-jadvalga yoziladi.
- 2. Xar bir sharchaning ikki tamg'a ( $m$  va  $k$ ) orasini bosib o`tish vaqtini ( $t$ ) sekundomer vosisida aniqlanadi.
- 3. Suyuqlik solingan idishning  $R$  radiusi shtangentsirkul' yordamida o`lchab olinadi.
- 4. Milimetrlı lineyka yordamida tamg'alar orasidagi 1 masofa aniqlanadi.
- 5.  $\rho$ ,  $\rho_c$  larning qiymatlari jadvallardan tegishlicha aniqlikda olinadi. Bu ma`lumotlarning barchasi 1-jadvalga yoziladi.

1-jadval

Tartib raqam	$n_1$	$n_2$	$d_i$	$r_i$	$t_i$	Doimiylar
1						$p$
2						$p_c$
3						$k=$
...						$l=$

### Xisoblashlar

(9) yoki (10) formuladagi o`zgaruvchan kattaliklarni va izlanayotgan  $\eta$  ni xisoblab, natijalar 2-jadvalga yoziladi.

Tartib raqam	$r_i$	$r_i^2$	$v_{0i} = \frac{l}{t_i}$	$r_i^2 / v_{0i}$	$\eta_i$	$\bar{\eta} - \eta_i$	$\varepsilon_i^2$
1							
2							
3							
...							

Ushbu jadval asosida  $\eta$  ning o`rtacha kavadratik va mutloq  $\Delta \eta t_A(n) S_{\bar{\eta}}$  xatoligi xisoblanib, a ishonchlilik uchun ishonch oralig'i quyidagicha yoziladi.

$$\eta = \bar{\eta} \pm \Delta \eta$$

Bundan tashqari, biror o`lchash natijasi uchun Reynol'ds soni, (3') formula bo'yicha  $\tau$  relaksatsiya vaqt va S relaksatsiya yo`li xisoblanadi. CHiqqan natijalar asosida Stoks formulasining berilgan tajribaviy qurilma uchun tadbipi taxlil qilinadi.

## TEBRANISHLARNING SO`NISHIDAN SUYUQAIKNING ICHKI ISHQALANISH KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

**Kerakli asbob va materiallar:**

1) qurilma. 2) sekundomer 3) tekshiriladigan suyuqlik.

### QISQACHA NAZARIYA

Bu ishdan maqsad diskning suyuqlikda simmetriya o`qi atrofida buralma so`nuvchi xususiy tebranishlarini kuzatish orqali suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlashdan iborat. Buning uchun jismning so`nuvchi tebranishi qonunlari bilan tanishaylik. Oddiy tajribalardan ma`lumki, biror turtkidan keyin boshlangan tebranish asta — sekin susayib so`nadi. Nixoyat, tebranayotgan jism tinch xolatga keladi. Buning sababi shundaki, tebranishlarni uyg'otishda berilgan mexanikaviy energiya yuzaga kelgan ishqalanish kuchlari tufayli issiqlikka aylanadi. Tezliklari kichik bo`ladigan tebranishlarda ishqalanish kuchlari tezlikning birinchi darajasiga mutanosib, desa bo`ladi. Masalan, prujinaga osilgan yukning tebranma xarakati tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\ddot{m}x = -kx - n x \quad (1)$$

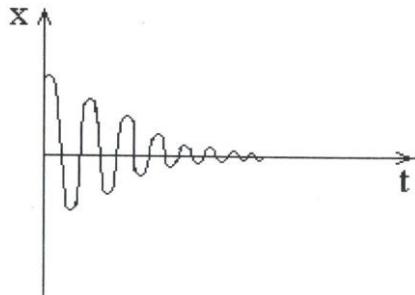
bu erda  $h$  ishqalanish kuchi,  $h$  — ishqalanish kuchi koeffitsienti bo`lib, u doimiy kattalikdir. Bu ikkinchi darajali differentialsial tenglamaning echimi

$$x = Ae^{-\beta ct} \cos(\omega_l t + \varphi) \quad (2)$$

bo`ladi bu erda  $A$  va  $\varphi$  — boshlang'ich shartga bog'liq bo`lgan doimiy

kattaliklar,  $\beta_c = \frac{h}{2m}$ ,  $\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{h^2}{4m^2}}$ ,  $\varphi = arctg\left(\frac{2\beta_c\omega_0}{\omega_1^2 - \omega_0^2}\right)$  ya`ni echim  $e^{-\beta_ct} \cos(\omega_1 t + \varphi)$  davriy funktsiyaga so`nuvchi eksponentsiyal funktsiyaning ko`patmasidan iborat. Funktsiyaning davri  $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$  bo`lib, u so`nuvchi tebranishning shartli davri deyiladi. (2) qonun bo`yicha sodir bo`luvchi xarakat 1 — rasmda ko`rsatilgandek, so`nuvchi sinusoidal tebranishni ifodalaydi. Tebranishlarning vaqt o`tishi bilan so`nish tezligini xarakterlovchi  $\beta_c$  kattalik so`nish koeffitsienti deyiladi. So`nish suratini tebrinishlar soni orqali baxolash uchun dekrement (logorifmik dekrement) kattaligidan, so`nish dekrementini aniqlash uchun (2) ifodadan foydalanamiz. (2) ifodani  $t$ ,  $t+T$  vaqtlar uchun yozib birining ikkinchisiga nisbatini olsak, quyidagilarni xosil qilamiz

$$\frac{x_1}{x_2} = -e^{-\beta_c T} \text{ yoki } \ln \frac{x_1}{x_2} = \beta_c T = \Theta \quad (3)$$



1 -rasm

Bu erda  $\Theta$  — bir davr ichidagi ikkita ketma —ket eng chekkaga og'ishlar kattaligi nisbatining natural lagarifmiga teng bo`lib, so`nish dekimenti deb ataladi. So`nish dekimenti fizikaviy jixatdan tebranishlar amplitudasi "e" (natural logarifm asosi) marta kichrayishi uchun kerak bo`ladigan  $N$  tebranish soniga teskari bo`lgan kattalikdir, ya`ni  $\Theta = \frac{1}{N}$

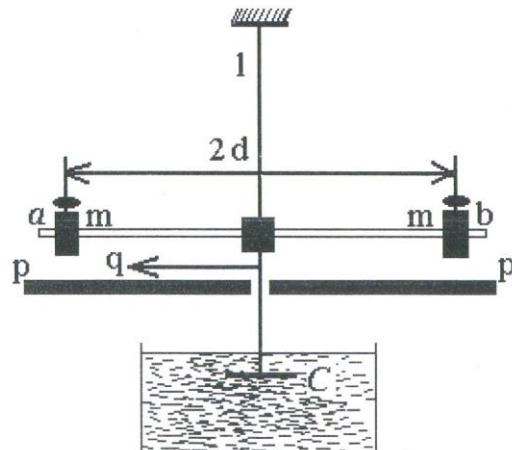
### Usulning nazariyasi va tajriba qurilmasi

Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini tebranishlarning so`nishidan aniqlashda 2 —rasmida ko`rsatilgan qurilmadan foydalaniladi. Qurilmada uzunligi 1 bo`lgan po`lat simga uchlaridan mm yuklar maxkamlangan «ab» dastak osilgan. Dastakning pastki tomoniga yuzasi 1 ga tik xolda s disk va q mil (strelka) maxkamlangan. Dastakning buralish burchagi PP limbdan xisoblanadi. S disk tekshiriladigan suyuqlikka tushiriladi. Dastakni muvozanat xolatidan  $a$  burchakka burib, o`z xoliga qo`yib yuborilganda disk suyuqlikda so`nuvchi tebranma xarakat qiladi. Diskning buralma so`nuvchi tebranislari ikkita kuch momenti ta`sirida sodir bo`ladiki, bunda tizimning xarakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$J\ddot{\alpha} = M_1 + M_2 \quad (4)$$

Bu erda  $\ddot{\alpha}$  — burchakdan vaqt bo`yicha olingan ikkinchi tartibli xosila, ya`ni burchak tezlanish,  $I$  —tizimning aylanish o`qiga nisbatan inertsiya momenti  $M_1$  — osma e ning qayishqoq kuch momenti  $M_2$  esa diskka ta`sir etuvchi ishqalanish kuchi

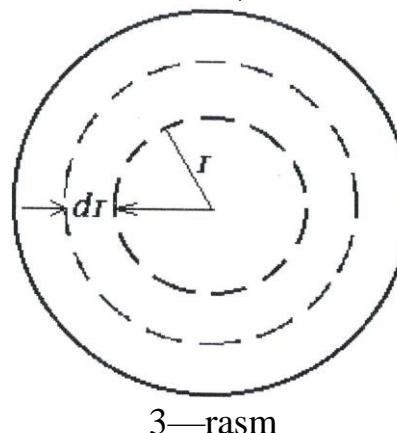
momenti bo`lib, tizimning boshqa qismlaridagi va xavoning ishqalanish kuchlari momentlari xam unga qo`shilgan deb xisoblanadi. (4) tenglamaning echimi buralish burchagining vaqtga bog`liq tarzda o`zgarish qonunidan iboratdir. Echimni aniqlash uchun  $M_1$  va  $M_2$  ning ifodalarini topib (4) ga qo`yish kerak.



Qayishqoq kuch momenti Guk qonuniga asosan, buralish burchagi kichik bo`lganda, burchakka mutanosibdir, ya`ni:

$$M_1 = D\alpha \quad (5)$$

Bu erda  $B$  simning buralish moduli,  $a$  — buralish burchagi.



Ishqalanish kuchining momenti quyidagicha xisoblanadi. Diskni fikran qalinligi yg bo`lgan kontsentrik halqalarga bo`lamiz (3 —rasm). Halqaning xar bir dS elementiga ta`sir etuvchi ishqalanish kuchi son qiymat jixatidan N'yuton qonuniga asosan

$$dF = -\eta dS \frac{dv}{dn}$$

bo`lib, xalqani cheklovchi aylanaga urinma bo`yicha yo`nalgandir. Bu erda  $\eta$  — suyuqlikni ichki ishqalanish koefitsienti;  $\frac{dv}{dn}$  — suyuqlik qatlamlari tezliklarining diskning yuzasiga normal yo`nalishdagи gradienti;  $dS$ -radiusi  $r$  va qalinligi  $dr$  bo`lgan xalqaning yuzi:  $dS = 2\pi r dr$ . shu kuchning aylanish o`qiga nisbatan momenti:

$$dM_2 = dF \cdot r = -2\pi\eta r^2 \frac{dv}{dn} dr$$

Diskning aylanish tezligi kichik bo`lganda xar bir element yaqinida tezlik

gradientini shu elementning tezligiga mutanosib deyish mumkin, ya`ni:

$$\frac{dv}{dn} = kv$$

bunda  $k$  — suyuqlikning tabiatiga, diskning materialiga, shuningdek, disk yuzining notekislik darajasiga bog'liq bo`lgan kattalik. element tezligini diskning burchak tezligi bilan almashtirilsa ( $v = \omega r$ ), unga ta`sir etuvchi moment ifodasi shu ko`rinishga keladi:

$$dM_2 = -2\pi\eta r^3 \omega dr k \quad (6)$$

Diskning hamma elementlariga ikkala tomondan ta`sir qiluvchi kuch momentini aniqlash uchun (6) ni 0 dan K gacha integrallash kerak:

$$M_2 = 2 \int_0^R dM_2 = -\pi\eta k R^4 \omega \quad (7)$$

Bu tenglamada  $B = \pi k R^4$  belgilash kiritilsa,  $M_2$  uchun

$$M_2 = -B\eta\omega = -B\eta\alpha$$

ifoda xosil bo`ladi, bunda  $a$  — burchakdan vaqt bo`yicha birinchi tartibli xosila, ya`ni burchak tezlik. Topilgan kuch momentlarining (5) va (7) dagi qiymatlarni (4) ga keltirib qo`yilsa, diskning xarakat tenglamasi ushbu ko`rinishni oladi:

$$\ddot{\alpha} = -\frac{D}{I}\alpha - \frac{B\eta}{I}\alpha \quad (8)$$

bu tenglanamaning echimi (2) ga o`xshash:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\beta_c t} \sin(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

bu erda  $\alpha_0$  — tebranishning boshlang'ich amplitudasi,  $\beta_c$  — so`nish koeffitsienti:

$$\beta_c = \frac{B\eta}{2I} \quad (10)$$

$\omega$ -tebranishning siklik takroriyligi:  $\omega = \sqrt{\frac{D^2}{I^2} - \beta_c^2}$

$\varphi$  — tebranishning boshlang'ich fazasi. So`nish dikrementiga berilgan ta`rifga va (3) ga asosan, (9) qonun bo`yicha sodir bo`lувчи tebranishlarning so`nish dikimenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\ln = \frac{\alpha_t}{\alpha_{t+T}} = \beta_c T = \Theta \quad (11)$$

bu erda T-diskning shartli tebranish davri. Tajribadan shartli tebranish davri va logarifmik so`nish dekrementini aniqlagandan so`ng (11) ifodadan so`nish koeffitsienti topiladi. So`ngra (10) ifodadan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti xisoblanadi:

$$\eta = \frac{2l}{B} \cdot \frac{\Theta}{T} \quad (12)$$

bu erda V-berilgan qurilma uchun doimiy kattalik bo`lib, qurilmada ko`rsatilgan bo`ladi. Shteyner teoremasiga asosan, tizimning inertsiya momenti:  $I=I_0+2md^2$  bu erda  $I_0$  — simga osilgan butun tizimning og'irlik markazidan o`tuvchi o`qqa nisbatan inertsiya momenti,  $md^2$  dastakdagi xar bir yuknig og'irlik markazidan o`tgan o`qqa nisbatan inertsiya

momenti:  $t$  — yukning massasi;  $d$  — yukning og'irlik markazidan tizimning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa. Tizim inertsiya momentining ifodasi (12) ga qo'yilsa, suyuqlikning ichki ishqalanish koefitsientini aniqlash uchun quyidagi tenglama xosil bo'ladi:

$$\frac{T}{\Theta} = \frac{2I_0}{B\eta} + \frac{4m}{B\eta} d^2$$

(13) dan ko`rinishicha, dastakdagi yuklarni aylanish o`qidan birday, lekin xar gal xar xil  $d_i$  masofalarda joylashtirib, tizimni tebranishga keltirilganda uning  $T_i$  shartli tebranish davrining  $\Theta$  so`nish dekrementiga nisbati  $d_i^2$  ga chiziqli bog'lanishda bo'ladi. Demak, shartli tebranish davrining so`nish dekrementiga nisbatining aylanish o`qi bilan yuklar orasidagi masofaning kvadratiga bog'lanishini tekshirib, (13) dan  $\eta$  ni xisoblash mumkin.

Vazifani bajarishga kirishishdan oldin quyidagi savollar bilan tanishib, berilgan javoblar ichidan to`g`ri va to`liq deb hisoblaganingizni ajratib daftaringizga yozib oling.

## O`LCHASH VA XISOBLASHLAR

1. Ikkala yukni tortib,  $m$  aniqlanadi.
2. aylanish o`qidan ikkala tomonda birday  $d_1$  masofa o`lchanib, yuklar maxkamlanadi.
3. disk tekshiriladigan suyuqlik solingan idishga tushiriladi. Dastak «ab» muvozanat xolatidan biror kichik burchakka buriladi va o`z xoliga qo`yib yuboriladi. Bunda butun tizim so`nuvchi tebranma xarakat qiladi. Tizimning  $a_0$  boshlang'ich amplitudasi PP limbdan belgilab olinadi va sekundomer shu momentda ishga tushirilib, tizim 25 ta tebranish bajargandan keyin to`xtatiladi va yana limbdan  $a$  tebranishlar amplitudasi belgilab olinadi. Yuklarning  $d_1$  xolati uchun o`lchashlar kamida 3 marta takrorlanadi. Olingan natijalar quyidagi 1 — jadvalga yoziladi.

1 — jadval

$d_i$	n=25			$t_i$	$T_i$	$a_{0i}$	$a_i$	$\Theta_i$	$\frac{T_i}{\Theta_i}$
	$t^1$	$t^n$	$t^m$						

4. Tajriba yuqorida 2 — 3 bandda bayon qilingan usulda y ning kamida 5 — 6 qiymatlari uchun takrorlanadi va natijalar 1 — jadvaliga yoziladi. Olingan natijalar asosida  $T_i, \Theta_i$  va ularning nisbatlari xisoblanadi.
5. h ni 1 — jadval natijalari asosida eng kichik kvadratlar usulidan foydalanib aniqlash uchun (13) ga quyidagi belgilashlar kiritamiz.

$$y_i = \frac{T_i}{\Theta_i}, \alpha = \frac{2l_0}{B\eta}, b = \frac{4m}{B\eta}, x_i = d_i^2$$

u xolda (13) ning o`rniga ushbu tenglama xosil bo'ladi.

$$y_i = a + bx_i \quad (14)$$

Bu tenglamalar tizimini qanoatlantiruvchi  $a$  va  $b$  o`zgaruvchilarni aniqlash uchun 1—jadvaldan foydalanib, quyidagi jadval tuziladi.

Nº	$x_i$	$x_i^2$	$y_i$	$x_i y_i$	$y_i^0$	$\varepsilon_i = y_i^0 - y_i$	$\varepsilon_i^2$
1							
2							
3							
	$\sum_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n x_i^2$	$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n x_i y_i$			$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$

(14) tenglamalar tizimini  $a$  va  $b$  o`zgaruvchilarga nisbatan echilsa, ular uchun quyidagi ifodalar xosil

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

bo`ladi.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{P_b}$$

bularни son qiymatlarini 2—jadval natijalari asosida xisoblash mumkin. YUqorida belgilashga asosan ‘ ning ifodasini uning son qiymatiga tenglashtiramiz.

$$b = \frac{4m}{B\eta}$$

bunda  $t$  va ‘ ni bilgan xolda izlanayotgan  $ts$  ni aniqlsh mumkin:

$$\eta = \frac{4m}{Bb} \quad (15)$$

Suyuqlikning tajribada topilgan ichki ishqalanish koeffitsienti qiymatining xatoligini (15) asosida xisoblsh mumkin:

$$\Delta\eta = \eta \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta b}{b} \right) \quad (16)$$

bu erda  $\Delta m$  — yuklarning massasini aniqlashdagi xatolik,  $\Delta B$  — doimiy  $B$  ni aniqlashda xatolik,  $\Delta b$  esa  $b$  ni aniqlash xatoligi. Xatoliklar nazariyasiga ko`ra, ‘ ning xatoligini 2—jadvaldan foydalanib, ushbu

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{(n-\delta)P_b}} \quad (17)$$

ifodadan xisoblash mumkin, bu erda  $n - \delta$ -lchashlar soni,  $\delta$ -ifoda (17) dagi o`zgaruvchilar soni  $P_b$  -kattalik b ning vazni.  $\varepsilon_i^2$  ni xisoblash uchun  $a$  va  $b$  larning soni qiymatlarini (14) ga qo`yib,  $x_1$  lar uchun  $y_i$  xisoblanadi. Ma`lumki, xisoblab topilgan  $y_i$  dan tajibada topilgan  $y_i$  larning ayirmasi  $\varepsilon_i$  ga teng, ya`ni  $\varepsilon_i = y_i^* - y_i$

### SINOV SAVOLLARI

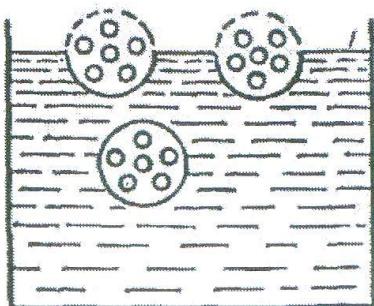
1. Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlashning yana qanday usullarini bilasizq
2. Gazlarning ichki ishqalanish koeffitsientini ham ushbu usulda aniqlasa bo`ladimiq Gazlar xolida yana qanday usullardan foydalanish mumkinq
3. Suyuqliklar va gazlar ichki ishqalanish koeffitsientining temperaturaga bog`lanishi qanday tushuntiriladi.
- Bajarilgan ishni topshirish uchun savollar
4. Ichki ishqalanish kuchining tabiatini qanday?
5. «Barqarorlashgan» tezlik terminining ma`nosi nima?
6. Qovushoq muhitda harakatlanuvchi sharchaga qanday kuchlar ta`sir qiladi? Qovushoq suyuqlikda harakatlanuvchi sharcha uchun N`yutonning ikkinchi qonunini yozing.
7. Etalon suyuqlik bilan o`rganilayotgan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientlari orasidagi bog`lanishni ifodalovchi formulani keltirib chiqaring (Osval'd usuli).
8. Stoks viskozimetri yordamida suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti qanday qilib aniqlanadi?
9. Osval'd kapillyar viskozimetri yordamida suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash printsipini tushuntiring.
10. Suyuqlik ichida harakatlanuvchi sharchaga nima sababdan kuchlar ta`sir etadi? Qanday shart bajarilganda bu kuchlarning teng ta`sir etuvchisi nolga teng bo`ladi?
11. Har bir tajriba uchun Reynol'ds sonining qiymatini hisoblang.  
Har bir eksperimentga Stoks formulasining qo`llanilishini muhokama qiling.
12. Qovushoqlik koeffitsientining temperaturaga bog`liqlik grafigini uy temperurasidan  $50^{\circ}\text{C}$  gacha bo`lgan temperatura intervalida chizing.
13. Areometr qanday tuzilgan va nima maqsadda ishlataladi?  
SHu ishda qanday sistematik xatoliklarga yo`l qo`yildi?

## SIRT TARANGLIK KOEFFISENTINI HALQANI SUYUQLIKDAN UZISH USULI BILAN ANIQLASH

**Kerakli asbob va materiallar:** 1) qurilma. (Jonli tarozisi ), 2) osma halqa, 3) tarozi toshlar to`plami 4) shtangensirkul.

### QISQACHA NAZARIY MA`LUMOT

Suyuqlikning sirt qatlamga ega bo`lishi, modda zichlignning sirt qatlamdan o'tishda sakrab o`zgarishi suyuqlikning bir qator xossalarini belgilaydi. Suyuqlik hajmidaga molekulalarga nisbatan sirt qatlamdagi molekulalar boshqacha sharoitda bo`ladi.



14-rasm

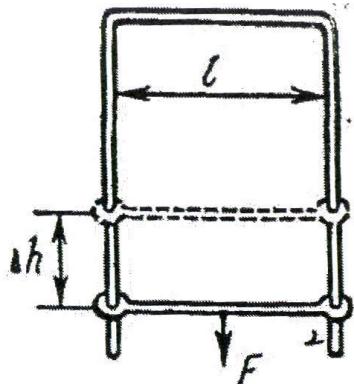
Suyuqlik ichidaga har bir molekula hamma tomonidan qo'shni molekulalar bilan o'ralgan bo`lib (14-rasm), unga har tomonlama bir hil tortishish kuchlari ta`sir qiladi. Suyuqlik sirtidagi molekulaga qo'shni molekulalar tomonidan ta`sir qiluvchi tortishish kuchlari suyuqlik ichiga va yon tomonlarga yo'nalgan bo`lib, bu kuch unga chegaradosh va molekulalari zichligi birmuncha kichik bo`lgan gaz qatlami tomonidai ta`sir qiluvchi tortishish kuchi bilan muvozanatlashmaydi. Suyuqlik sirtidagi molekulaga sirtga tik va suyuklik ichiga yo`nalgan natijaviy kuch ta`sir qiladi. Bu kuch ta`sirida molekula suyuqlik ichiga tortiladi. Issiqlik harakati tufayli suyuqlik ichidagi molekulalar suyuqlikning sirt qatlamiga chiqib turadi. Molekulalarning suyuqlik ichiga ketish tezligi sirt qatlamga kelish tezligidan katta, shu sababli suyuqlikning sirt qatlamidaga molekulalar soni kamaya borib, dinamik muvozanat yuzaga kelguncha (ya`ni ma`lum vaqtida sirt qatlamga keluvchi va sirtdan ketuvchi molekulalar soni tenglashguncha)sirt qatlami qisqara boradi. SHunday qilib, tashqi kuchlar bo`limganda suyuqlik mumkin bo`lgan eng kichik sirtni egallaydi. Ma`lumki, bir hajmli jismlardan shar shaklidagisi eng kichik sirtga ega, shuning uchun suyuqlikka faqat ichki kuchlar ta`sir etganda u shar shaklini oladi. Tashqi kuchlar mavjudligida suyuqlik shakli o`zgaradi. Sirtni kattalashtirish uchun bunda ish bajarish za-rur. Bu ish molekulani suyuqlik hajmidan sirtga chiqarish uchun sarflanadi. Demak, suyuqlik sirtini  $\Delta S$  qadar kattalashtirish uchun bajariladigan ish

$$\Delta A = a \cdot n \cdot \Delta S \quad (1)$$

bo`ladi, bu erda  $\alpha$  — bitta molekulani suyuqlik hajmidan sirtga chiqarish ishi,  $n$  — bir birlik sirtga tug'ri keluvchi molekulalar soni. Ko`paytma  $\alpha n = \sigma$  Suyuqlikning sirt ta-ranglik koeffitsienti deyiladi, (1) ni  $\sigma$  ga nisbatan echilsa,

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (2)$$

bo`ladi, (2) ga asosan, suyuklikning sirt taranglik koeffitsienti son qiymati jihatidan suyuqlik sirtini bir birlikka o`zgartirish uchun bajarlishi kerak bo`lgan ishga teng.



15-rasm

Sirt taranglik koeffitsienti  $\sigma$  ni sirttaranglik kuchi orrqali ifodalaylik. Bir tomoni erkin harakat qila oladigan (15-rasm) simdan yasalgan ramkani sovunning suvdagi eritmasiga tushirilsa, ramkada suyuqlikning ikkita erkin sirtli yupqa pardasi hosil bo`ladi. Agar ramkaning qo`zg`aluvchan tomonini biror  $F$  kuch bilan pastga tortib (bunda sovun pardasi cho`ziladi), so`ngra o`z holiga qo`yilsa, parda qisqaradi (dastlabki holiga qaytadi). Suyuklik sirtini qisqartiruvchi kuchni sirt taranglik kuchi deyiladi, Qo`zgaluvchan to`sinchani  $\Delta h$  ga siljitimda sirt taranglik kuchiga qarshi bajariladigan ish:

$$\Delta A = F \cdot \Delta h$$

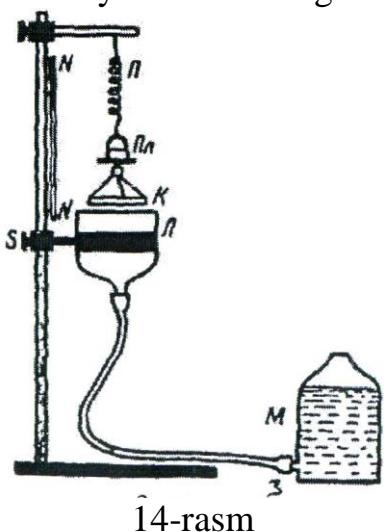
Bu ish (2) ga asosan  $\Delta A = \sigma \cdot \Delta S = 2l\Delta h \cdot \sigma$  bo`ladi, bu erda  $\Delta S = 2l \cdot \Delta h$  — parda sirtining o`zgarishi. Ishning har ikkala ifodasini o`zaro qiyoslab ko`rilsa,

$$\sigma = \frac{F}{2l} \quad (3)$$

bu erda  $\frac{F}{2}$  pardanining bir tomoniga ta`sir qiluvchi kuch. Shunday qilib, sirt taranglik koeffitsienti son qiymati jihatdan suyuqlik sirt pardasi chegarasining uzunlik birligiga qo`yilgan kuchga teng. Bu kuch suyuqlik sirt pardasi chegarasining istalgan elementiga tik va suyuqlik sirtiga urinma bo`lib yo`nalgan. Sirt taranglik koeffisienti CI birliklar tizimida H/m da, CGC da esa dn/sm da o`lchanadi.

### Tajriba qurilmasi va usulning nazariyasи

Bu ishda sirt taranglik koeffisienti Joli tarozisi deb ataluvchi asbob vositasida aniqlanadi, Asbobning tuzilishi rasmda ko`rsatilgan. Tik shtativ ustiga qayshqoq P prujina o`rnatilgan, uning pastki uchiga P tarozi toshlari va engil K alyuminiy halqa uchun ufqiy plastinka osilgan, Shtativ bo`ylab L shisha idish harakatlana oladi. L idish rezina nay yordamida ikkinchi M idish bilan tutashtirilgan. L idishning holatini C vint yordamida o`zgartirish mumkin.



14-rasm

L idishni shunday o`rnatish kerakki, K halqa uning ichiga tushsin. M idish ichiga tekshriladigan suyuqlik solinadi. L idishdagি suyuqlik sirti xalqaga to`la tekkunga qadar M idish yuqoriga ko`tariladi. Agar M idish asta-sekin pastga tushirilsa, halqa bilan bog`liq bo`lgan suyuqlik sirt pardasi pasaya borib, P prujinani cho`zadi. Halqaning suyuqlikdan uzilish paytiga mos keluvchi prujina deformatsiyasi suyuqlik tomonidan halqaga ta`sir etayotgan kuchga mos keladi. Prujinaning cho`zilish shtativga mahkamlangan NN ko`zgu yordamida o`lchanadi. Buning uchun Pl plastinkaning yoyiga ufqiy sim mahkamlangan-uni vizir deyiladi. Vizirni ko`zgudagi tasviri bilan ustma-ust keltirib, unga mos keluvchi shkala bo`limlari belgilab olinadi.

Halqaning uzilish paytida, unga tegib turuvchi suyuqlik sirtini tik deb hisoblash mumkin, Suyuqlik tomonida halqaga tubandagi kuchlar ta'sir qiladi: 1) halqaning ichki konturi bilan bog'langan pardanining sirt taranglik kuchi

$$f_1 = \pi D_1 \sigma;$$

2) halqaning tashqi konturi bilan bog'langan pardanining sirt taranglik kuchi

$$f_2 = \pi D_2 \sigma;$$

3) halaqaning kesimi bo'ylab h balandlikka ko'tarilgan suyuqlik ustunchasining og'irligi

$$F = \pi (\ddot{A}_1 + \ddot{A}_2) \left[ \delta + \frac{\ddot{A}_2 - \ddot{A}_1}{4} h p g \right] \quad (4)$$

Halqaning uzilish paytida bu kuchlarning hammasini o'zaro parallel va tik deb hisoblash mumkin, u vaqtida halqaga suyuqlik tomonidan ta'sir etuvchi natijaviy kuch

$$F_k = \pi \frac{(D_1 + D_2)}{4} (D_2 - D_1) h p g \quad (4')$$

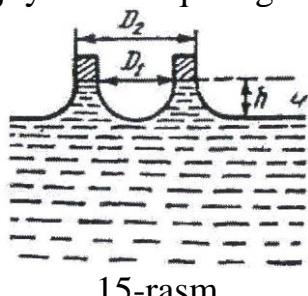
bu erda  $D_1$  va  $D_2$  — halqaning ichki va tashqi diametrlari,  $\sigma$  — sirt taranglik koeffisienti,  $\rho$  — suyuqlik zichligi,  $g$  — og'irlik kuchi tezlanishi.

h kattalikni taxminan shunday baholash mumkin. Suyuqlikning egrilangan sirti ostidagi bosim tashqi bosimdan

$$\Delta p = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

kattalikka farq qilishini ko`rsatish mumkin. Bu erda  $R_1$  va  $R_2$  — o'zaro tik ikkita tekislik orasidagi sirtga normal yo`nalgan suyuqlik sirtining radiuslari. Agar egrilik markazi suyuqlik ichida joylashsa, radius (+) musbat ishora bilan agar egrilik markazi suyuqlikdan tashqarida bo`lsa, (-) manfiy ishora bilan olinadi. Biz ko`rayotgan halqa uchun uzilish momentida halqaga yopishib olgan suyuqlik birinchi sirtining egrilik

radiusi xalqani ichki radiusiga ikkinchisiniki esa kattalik jihatidan taxminan h ga teng (15-rasm). Demak, ko'tarilgan suyuqlik ustunchasining halqaga tegib turgan joyda hosil qiladigan bosimli ushbu ko`rinishshda ifodalanadi.



$$p_x = p_0 + \Delta p = p_0 - \sigma \left( \frac{2}{D_1} - \frac{1}{h} \right).$$

Suyuqlikning ifqiy sirti ostidagi atmosfera bosimi  $p_0$  bo'lganda uzilish paytida

$$p_0 = p_x + \rho g h,$$

bu erda  $p_0$  — atmosfera bosimi. Yuqoridagi tenglamalarda

$$h^2 \cdot \frac{\sigma}{\rho g} + \frac{2\sigma h}{D_1 p g} = 0,$$

bundagi  $\frac{2\sigma h}{D_1 \rho g}$ -kichik miqdorni hisobga olmaganda quyidagini olamiz:

$$h \approx \sqrt{\frac{\sigma}{pg}}. \quad (5)$$

$$(5) ni (5) ga qo`ysak, F = \pi(D_1 + D_2)\sigma \left[ 1 + \frac{D_2 - D_1}{4} \sqrt{\frac{\rho g}{\sigma}} \right]. \quad (6)$$

Bunda quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

$$A = \frac{F}{\pi(D_1 + D_2)}, \quad (7)$$

$$D = \frac{D_2 - D_1}{4}. \quad (8)$$

U holda

$$\sigma = A - D\sqrt{\sigma\rho g} \text{ yoki } \sigma^2 - (2A + D^2\rho g)\sigma + A^2 = 0, \quad (9)$$

bu tenglamani  $\sigma$  ga nisbatan echilsa,

$$\sigma = A - \frac{D^2 pg}{2} \left[ \sqrt{\frac{4A}{D^2 pg}} + 1 - 1 \right]. \quad (10)$$

(6) Formula bilan ifodalanuvchi F kuch prujinaning cho`zilishidan aniqlanishi uchun prujina oldindan darajalangan bo`lishi kerak.

### O`lchashlar va hisoblashlar

1. Prujina darajalash uchun plastinka  $P_1$  ga xalqani osib, uni ufqiy tekislikda o`rnataladi va shkaladan vizirning holati aniqlanadi. Plastinka  $P_1$  ga ketma-ket 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 gacha 0,5 grammdan orttirib tarozi toshlari qo`yib boriladi va har safar vizirning xolati belgilanadi. O`lchashlar besh marta takrorlanadi va natijalar 1-jadvalga yoziladi.

**1-jadval**

Tartib raqami	Yuk qo`yilmas dan oldin	Yuk qo`yilgan dan keyin	O`rtacha	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

2,1-jadval natijalaridan foydalanib vizirning yuksiz va yukli holatining ortacha qiymatlari topiladi va 2-jadval tuziladi. Unda prujinaning cho`zilishi 1, (vizirning yukli holatining o`rtacha qiymatidan yuksiz holatining o`rtacha qiymatidan yuksiz xolatining o`rtacha qiymati ayirmasi) ning yuk kattaligiga bog`liqligi ko`satiladi.

**2-jadval**

Tartib raqami	Yuklar $F_1$	prujinaning cho`zilishi $l_1$	$\Delta l_1 = l_{1+1} - l_1$	$F_1$	$F_1^2$	$l_1$	$\ell_1 = l_{1+1} - l_1$	$\ell_1^2$
1	0,5							
2	1,0							
3	1,5							

4	2,0						
5	2,5						
6	3,0						
				$\sum_{1,1}^{\pi} F_1 l_1$	$\sum_{1,1}^{\pi} F_1^2$		$\sum_{1,1}^{\pi} \varepsilon_1^2$

2-jadvaldan foydalanib, prujina cho`zilishining bir yukdan ikkinchi yukka o`tishdagi o`zgarishi  $\Delta l_1 = l_2 - l_1$  hisoblanadi. Agar  $\Delta l_1$ ning kattaligi vizir holatining o`rtacha og`ishlariga mos kelsa, u holda  $l_1$  ni yukka bog`lanishi chizig`iy bog`lanish deyish mumkin va u bog`lanishni quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 = K l_1, \quad (12)$$

Bu yerda K-burchak koefitsenti bolib u eng kichik kvadratlar usuli bilan aniqlanadi:

$$K = \frac{\sum F}{\sum F_1 l_1} \quad (13)$$

(13) tenglikdan aniqlangan K ning qiymati (12) ga qo`yib tajribada topilgan  $F_1$  har bir qiymati uchun  $l_1$  va  $\varepsilon_1 = l_2 - l_1$  ni hamda  $\varepsilon_1^2$  larni hisoblash mumkin K kattalikning xatoligi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$\Delta K = K^2 \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_1^2}{(n-1) \sum F_1}} \quad (14)$$

bu erda n — tizim (12) daga tenglaamalar soni, bizda esa u yuklar soniga ( $n=6$ ) teng. Agar darajalangan prujina noma`lum kuch ta`sirida 1qadar cho`zilgan bo`lsa, bu kuch-ning kattaligi

$$F = (K \pm \Delta K) l_1$$

bo`ladi.

3. Prujinani darajalab bo`lgandan so`ng xalqaning ichki  $d_1$  va tashqi  $d_2$  diametrleri o`lchanadi. Halqa yupqa bo`lganligi uchun o`lchash extiyotlik bilan bajarilishi kerak. Aks holda halqa deformatsiyalanishi mumkin. Har bir diametrni har xil yo`nalishda besh martadan o`lchab, o`lchash natijalari 3-jadvalga yoziladi va o`rtacha qiymati bo`yicha

$$\pi(d_1 + d_2) \text{ va } \frac{d_2 - d_1}{4}$$

kattaliklar hamda  $\pi (d_1 + d_2)$  ning xatoligi hisoblanadi.

3-jadval

Tartib raqami	$d_1$	$d_2$	$\varepsilon_1 = \varepsilon [(d_1 + d_2) - (d_1 + d_2)]$	$\varepsilon_{12}$
1				
2				
3				
...				

	$d_1$	$d_2$		$\sum_1 \varepsilon_1^2$
--	-------	-------	--	--------------------------

$\pi(d_1 + d_2)$  kattalikning xatoligi quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$\Delta [\pi(d_1 + d_2)] = \sqrt{\frac{\sum_1 \varepsilon_1^2}{\frac{1}{n(n-1)} t_a^2(n) + \left(\frac{ta(00)}{3}\right)^2}} \delta \quad (15)$$

bu erda  $n$  — dyametrni o'lchashlar soni,  $\delta$  — o'lchash asbobining eng kichik bo`limi bahosi,  $\varepsilon_1$  — 3-jadvalda ko`rsatilgan xatolik.

4. Halqaning diametrlari aniqlangandan keyin uni spirt yoki atseton bilan tozalanadi va M idishni distrlangan suv bilan to`ldirib, halqani L idishdagi suyuklik sirtiga tekkiziladi. M idishni asta-sekin pastga tushira borib, suv sirtidan halqaning uzilish paytidaga vizir holati belgilanadi. Diqqat bilan kuzatilsa uzilgunga qadar halqa yuqoriga ko`tariladi va L idishdagi suv yuqlikning pasayishi bilan uuziladi. Uzilish mos keluvchi vizir vaziyatini belgilash kerak, Halqaning suyuqlikdan uzilish jarayoni kamida 10 marta tajrorlash kerak. Vizirning boshlangach nolinchi holati uchun prujinani darajalashda aniqlangan qiymat olinadi, Prujinaning cho`jilishi haqanining uzjlish vaqtidagi vizir holatidan vizirning nolinchi holatini ayirilganiga teng.

Tajriba natijalari 4-jadvalga yozidadi.

**4-jadval**

Tartib raqami	vizirning nolinchi holati	vizirning uzilishdagi holati	Prujinaning cho`jilishi, $l_1$	$\varepsilon_1 = l - l_1$	$\varepsilon_1^2$
1					
2					
3					
...					

• Tajribada olingan natijalardan uzilish paytidagi prujina cho`zlishining o`rtacha qiymati topiladi va uning xatoligj ushbu tenglikdan hisoblanadi:

$$\Delta l = t_a(n) \sqrt{\frac{\sum_1 \varepsilon_1^2}{\frac{1}{n(n-1)}}}, \quad (16)$$

bunda  $t_a(n)$  — amaldaga o'lchashlar soniga va ishonch ehtimolligi (0,7) ga mos bo`lgan st'yudent koeffisienti,  $\varepsilon_1^2$  — prujinaning cho`zilishiga tegishli (4-jadvaldag) kattalik

SHunday qilib, hamma chizig`i o'lchamlarni santimetrlarda ifodalansa, darajalash yaatijalariga asosan halqaga uzilish paytida ta`sir etuvchn F kuch (12) va (13) ga ko`ra quyidagiga teng bo`ladi:

$$F = KI. \quad (17)$$

Kuchning bu qiymatini (7) ga qo`yamiz, so`ngra (7) va (8) larni (11) tenglamaga qo`ysak,  $\sigma$  ni hisoblash uchun quyidaga ifoda hosil bo`ladi:

$$\sigma = \frac{KI}{\pi(D1+D2)} - \frac{D2pg}{2} \left[ \sqrt{\frac{4A}{D2pg}} + 1 - 1 \right]. \quad (18)$$

$\sigma$  ni hisoblashdagi xatolikni esa quyidagicha aniqlash mumkin. (18) ning o'ng tomonidagi ikkinchi had kichik tuzatmadan iborat bo`lgani uchun  $\sigma$  ning xatoligini aniqlashda uni hisobga olmasak ham bo`ladi. U holda xatoliklar nazariyasiga asosan  $\sigma$  ni

aniqlashdagi xatolik uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\Delta \sigma = \sigma \sqrt{\left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 + \left\{ \frac{\Delta[\pi(D1+D2)]}{[\pi(D1+D2)]} \right\}^2} + \left( \frac{\Delta l}{l} \right)^2$$

ildiz ostidagi hadlarning har birini mos ravishda (14), (15), (16) mutlaq xatoliklar yordamida topiladi.

## SIRT TARANGLIK KOEFFITSIENTINI SUYUQLIKNING KAPILLYAR NAYLARDA KO`TARILISH BALANDLIGI BO`YICHA TOPISH

**Kerakli asbob va materiallar;** 1) KM tipidagi katetometr; 2) "Mir" tipdaga o`lchov zarrabini; 3) har xil diametrli kapillyar naylar to`plami; 4) qurilma; 5) yoritkich.

### QISQACHA NAZARIY MA`LUMOT

Ma`lumki, keng idishga solingan suyuqlikka kapillyar nay tushirilsa, undagi suyuqlik sathi keng idishdagi ho`lllovchi suyuqlik sathidan balandroqda, ho`llanmaydigan suyuqlik uchun pastroqda bo`ladi. Bu hodisani tushunish uchun menisk shaklini va molekulyar bosimning suyuqlik sirtining egriligidagi bog`liqligini hisobga olish kerak, Suyuqliknining yassi sirtidan H chuqurlikdaga bosim 1-rasm ushbuga teng:

$$P = P_a + pgH + p, \quad (1)$$

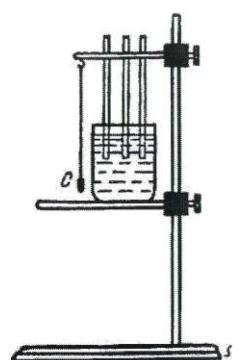
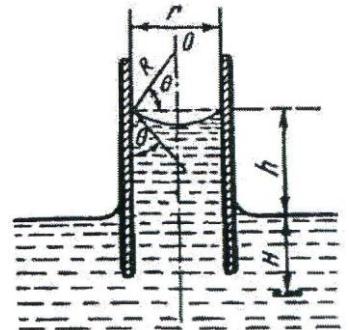
bu erda  $P_a$  — atmosfera bosimi,  $pgH$  — gidrostatik bosim,  $p$  — sirti ostidagi molekulyar bosim. O`sha chuqurlikda tsilindrik ka... im esa

$$P = P_a + pg(H+h) - \frac{2\sigma}{R} + P, \quad (2)$$

bu erda  $R$  — sferik shaklda deb hisoblanuvchi botiq sirtning radiusi,  $\sigma$  — suyuqliknining sirt taranglik koeffitsienti. Muvozanat xolda (1) va (2) tenglashadi undan

$$pgh = \frac{2\sigma}{R} \quad (3)$$

Ma`lumki, naydagи suyuqlik sirtining egrilik radiusini kapillyar radiusi  $r$  va chegaraviy burchak  $\theta$  orqali (73-rasm)



quyidagicha ifodalash mumkin.  $R = \frac{r}{\cos \sigma}$  unda (3) ni h ga nisbatan echilsa,

$$h = \frac{2\sigma}{pgr} \cos \sigma.$$

CHegaraviy burchak juda kichik bo`lganda (to`la qo`llash) bu tenglaamani soddalashtirib, quyidagicha yozish mumkin:

$$h = \frac{2\sigma}{pgr}.$$

Shunday qilib suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti qancha katta yoki kappilyarning qancha kichik bo`lsa, uning kapillyar nay bo`yicha ko`tarilish balandligi shuncha katta bo`ladi. Agar suyuqlik kapilyarni ho`llamaydigan bo`lsa, chegaraviy burchak  $90^\circ$  dan katta, ya`ni suyuqdiq meniski qavariq bo`ladi. Bunday hollarda kapilyardagi suyuqlik sathi keng idishdagidan pastroqda bo`ladi. Suyuqlikning sirt taranglik koeffisientini (4) dan aniqlash uchun kapillyar radiusi r ni, suyuqyaik zychligi p ni, suyuqlikning kapillyar bo`yicha ko`tarilish balandligi h ni bylish kerak.

2-rasm

### **Usulning nazariyasi va tajriba qurilmasi**

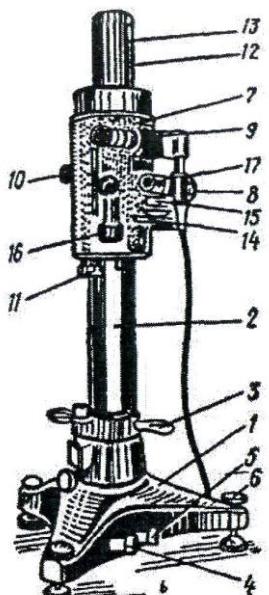
Agar radiuslari  $r_1, r_2, r_3$  bo`lgan kapillyar naylarni to`la ho`llaydigan suyuqlik ichiga tushirilsa, (4) ga asosan ulardagi suyuqliklarning ko`tarilish balandliklari mos ravishda

$$h_1 = \frac{2\sigma}{pgr_1}, h_2 = \frac{2\sigma}{pgr_2}, h_3 = \frac{2\sigma}{pgr_3}$$

bo`ladi. Bulardan foydalanib,  $\sigma$  ni hisoblash uchun quyidagilarni olamiz:

$$\sigma = \frac{r_1 r_2 p g}{2(r_1 - r_2)} (h_1 - h_2) = \frac{r_1 r_3 p g}{2(r_3 - r_1)} (h_1 - h_3) = \frac{r_2 r_3 p g}{2(r_3 - r_2)} (h_2 - h_3).$$

Shunday qilib, naylarning radiuslarini va suyuqlikning ularda ko`tarilish badandliklarini o`lchab, suyuqlik zichligining xona temperaurasidagi qiymatini jadvaldan olib, uning sirt taranglik koeffitsentini (5) bo`yicha hisoblash mumkin. Bu ishda - rasmida ko`rsatilgan qurilmadan foydalaniladi. Qurilmada maxsus tutqichga maxkamlangan kapillyar naylar, ulardan tashqari, tekshiriladigan suyuqlikli idish uchun shu tutqichga biriktirilgan ko`chma polka bor. Naylar C sovun yordamida tik o`rnatiladi va tutqichning yon tomonida o`rnatilgan elektr lampa vositasida yoritiladi. Naylarning  $r_1, r_2, r_3$  radiuslarini "MIR" tipidagi o`lchov mikroskopi yordamida,  $h_1, h_2, h_3$  tik masofalarni esa «KM» tipidagi katetometr vositasida o`lchanadi.



### **Katetometrning tuzilishi**

Katetometr yaxlit o`choqqa o`rnatilgan tik shtativdan,

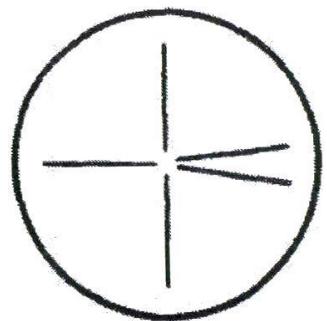
3-rasm

o`lchov karetkasidan, ko`rish trubasidan va o`lchov mikroskopidan iborat (3-rasm), Uchoq I ga kolonna 2 o`rnatilgan bo`lib, kallak 3 yordamida uni tik o`q atrofida aylantirish mumin. Mikrometrik siljitishni 5 vint maxkamlangan xolda 4 vint yordamida amalga oshirish mumkin. Kolonnaga millimetrali shisha shkala o`rnatilgan bo`lib, shkala kolonna o`qiga qat`iy paralel joylash-gan. Uchoqdagi vintlarni burab, kolonnani doiraviy vaterpas yordamida tik o`rnatiladi. Ko`rish nayi 8, o`lchov zarrabini 9 o`rnatilgan o`lchov karetkasi 7kolonna bo`ylab roliklarda siljiy oladi. O`lchov karetkasini tik bo`yicha katta siljitishlar 10 vint bo`shatilgan holda qo`l bilan amalga oshiriladi. Uni aniq siljitishlar esa 10 vintni mahkamlagan holda, mikrometrik 11 vint yordamida bajariladi. Karetka kolonna ichidagi posangi bilan muvozanatlangan. Posangi yo`naltiruvchi 13 rolik orqali o`tkazilgan 12 po`lat lenta vositasida karetka bilan birlashtirilgan. Ko`rish nayi 8 karetka o`rnatilgan. Nayni obektning tanlangan nuqtasiga fokuslash 14 maxovnikni burash orqali amalga oshiriladi. Ko`rish nayini qo`pol sozlash shu nayida o`rnatilgan mexanik vizir yordamida bajariladi. Tubusning yon tomonida o`qi ko`rish nayining vazir o`qiga paralel bo`lgan 15tslindrik vaterpas joylashgan. Vaterpasdagagi pufakcha uchlari tasvirlarini 17 lupa orqali qarab, mikrometrik 16 vint yordamida mos keltiriladi. Mana shunday holatda vaterpas ufqiy o`rnatilgan bo`ladi. Pufakcha yarimlari bir-biriga mos joylashganda ko`rish trubasining vizir o`qi aniq ufqiy holatga keladi. Ko`rish nayini ufqiy tekislikda aniq o`rnatish 5 vint mahkamlangan holatida 4 mikrometrik vint vositasida bajariladi. Katetometr o`yachov karetkasida mas-shtab to`rga ega bo`lgan o`lchov zarrabini o`rnatilgan. Mas-shtab to`r tik va ufqiy yo`nalishlarda 10 qismga bo`lingan. O`lchov zarrabini shunday o`rnatilganki, to`rning 10 ta ufqiy bissektori millimetrali shkalaning ikkita chizig`i orasida joylashadi. Demak, har bir bissektaorga tik yo`nalishda 0,1 millimetrr mos keladi. Ufqiy io`nalishda bissektoarning 0,1 qismi 0,01 mm ga teng. Milli-metrning 0,001 ulushlari esa ko`z bilan chamalanadi.

Ko`rish nayi va o`lchov zarrabini yordamida o`lchanuvchi uzunlikni millimetrali shkala bilan taqqoslanadi, Karetkani kolonnada tik siljitish va tik o`q atrofida kolonnani burish orqadi ob`ektning tanlangan nuqtasiga vizirlash amalga oshiriladi. Tegishli hisoblash-larni mikrometrning okulyari orqali shkaladan va masshtab to`rdan olinadi. Tik kesmalarning uzunligi tegishli hisoblarning ayirmasi sifatida topiladi.

### **Katetometrda ishlash usuli**

Uchoyoqning ko`tarish vintlarini burash orqali doiraviy vaterpas yordamida kolonnaning o`qi tik holatga keltiriladi. O`lchov zarrabinning yoritish tizimi transformator orqali tok tarmogi`ga ulanadi. Vint 10 bo`shatiladi, o`lchov karetkasini ob`ektning tanlangan nuqtasi sathiga ko`tariladi va mexanik vizir yordamida ko`rish nayi ob`ektga yo`naltiriladi. Ko`rish nayining okulyarini to`rning keskin tasviri hosil bo`ladigan qilib, fokuslovchi linzani esa ob`ektning keskin tasviri hosil



4-rasm

bo`ladigan qilib o`rnatiladi. SHundan so`ng ko`rish nayini ob`ekt nuqtasiga aniq to`g`rilanada. Buni 10 vint mahkamlangan holda 11 vint va 5 vint mahkamlangan holda 4vinht yordamida amalga oshiriladi. Ko`rish nayining to`rida kesishgan chiziqlar bo`lib, uning o`ng tomonidagi ufqiy shtrixi burchak bissektor ko`rinishida ishlangan ( 4-rasm). Nayni to`g`rila shtrixi ob`ekt nuqtasi to`rning o`ng yarmida, burchak bissektorning aniq o`rtasida ufqiy shtrix sathida joylashishi lozim. Aniq tik to`grilashda pufaklarning yarim tasviri yoy hosil qilgan vaterpas doimo ko`rish maydonida bo`lishi lozim. SHundan so`ng masshtab to`r bo`yicha.birinchi hisob olinadi.So`ngra kolonnani burib, ko`rish nayi ikkinchi ob`ektning tegishli nuqtasiga yo`naltiriladi va yuqoridagi tartibda o`lchash bajariladi. O`lchov zarrabinining ko`rish maydonida bir vaqtda millimetrlı shkalaning raqamlar bilan belgilangan ikkita shtrixi tasviri va masshtab to`r ko`rinadi. Bugun millimetrlarning sanoq, indeksi vazifasini 0,1 ulushli nolinchi bissektor bajaradi.

Masalan, -rasmdagi raqamlar sanogini yozib ko`raylik.

Bunda shtrix nolinchi bissektorni o`tmagan, yaqinroqdagagi katta shtrix nolinchi shtrixga etmagan. Hisoblash bu erda 162 mm bilan bundan nolinchi bissektorgacha bo`lgan kesma uzunligining yig`indisini beradi. Bu kesmada millimeterning 0,1 ulushlari soni bissektorning o`tgan oxirgi 0,1 millimetri bilan, ya`ni 2 raqami bilan belgilanadi, Millimeterning 0,01 va 0,001 ulushlari xisobi esa to`rning ufqiy yo`nalishida, ya`ni millimetrlı shtrix to`rning to`rtinchi va beshinchi bo`limi orasidan olinadi, u taqriban 0,044 mm ga mos keladi. Hisoblashning oxirgi natijasi 162,244 mm bo`ladi. O`lchash aniqligini oshirish uchun uni bir necha marta takrorlash kerak. O`lchash vaqtida quyidagilarga axamiyat berish lozim: 1) o`lhashlar ko`rish nayi qayta fokuslanmagan xolda, 2) nayning ufqiy xolatini saqlagan xolda bajarilishi kerak.

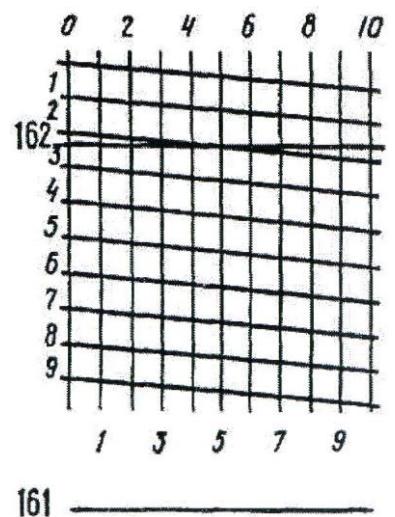
### O`lhashlar va hisoblashlar

1.Tajribada foydalilaniladigan uchta kapillyar naydan kesib olingan va maxsus uyachalarga joylashtirilgan namuna bo`laklarning ichki diametrлари 0,01 mm aniqlikda «MIR» zarrabinida o`lchanadi va natijalar 1-jadvalga yoziladi.

**1-jadval**

Tartib raqami	r1	r2	r3	h1	h2	h3
1						
2						
3						
....						

2. Naylar maxsus eritmada, so`ngra distillangan suvda tozalab yuviladi va issiq havo o`tkazilib quritiladi.



5-rasm

3. Naylar tutqichda tik o`rnatiladi va distillangan suvda idishga yarmidan ortiqrog`i botirilib, bir oz vaqt shunday qoldiriladi.

4 Nay devorlari xo`llangandan keyin uni bir necha santimetr ko`tariladi va katetometr orqali qarab, kapillyar ichidagi suyuqlik meniski cho`qqisining holati aniqlab olinadi.

5. Naylarning suvgaga botish holatini yana 2—3 marta o`zgartirib, har safar menisk holati diqqat bilan o`lchanadi, olingan natijalar 1-jadaalga yoziladi,

1-jadval asosida suvning sirt taranglik koeffitsienti (5) formula bo`yicha hisoblab topiladi, O`lchash xatoligi

$$\Delta\tau = ta(n) \sqrt{\frac{\sum_i (\tau - \bar{\tau})^2}{n(n-1)}}$$

dan hisoblanadi va olingan natija usulning xatoligani ifodalovchi ushbu

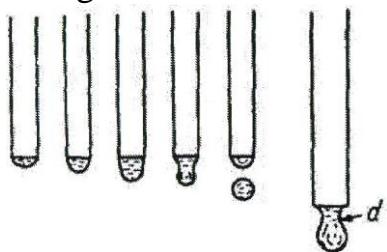
$$\Delta\tau = \tau \left[ \frac{r_{22} + r_{12}}{r_{1r2}(r_2 - r_1)} \Delta r + \frac{2}{h_1 - h_2} \Delta h \right]$$

xatolik bilan solishtiriladi. Bu erda  $\Delta r$  — naylarning radiuslarini o`lchashdagi xatolik bo`lib, u katetometrning aniqligiga teng.

## SUYUQLIKNING SIRT TARANGLIK KOEFFITSIENTINI TOMCHI UZILISH USULI BILAN ANIQLASH

**Kerakli asbob va maternallar:** 1. Jo`mrakli ikkita bir xil byuretka yoki ikkita belgisi bo`lgan ingichka naycha. 2. ikkita stakancha. 3. Voronka. 4. Tekshiriladigan suyuqliklar, 5. etalon suyuqlik (distillangan suv).

Ishning maqsadi tomchi uzilish vaqtida uni uzilishga majbur etuvchi kuch (tomchining og`irlilik kuchi) ning tomchini tutib turuvchi kuchga (sirt taranglik kuchiga) son jihatdan tengligidan foydalanib, tajribada turli suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsientini aniqlash.



12-rasm

Bu usul naychaga quyilgan suyuqlikning naycha tor uchidan tomchi shaklida uzilib tushishiga asoslangan (12-rasm). Tomchining uzilib tushishiga majbur etuvchi kuch (tomchining og`irlilik kuchi) uni tutib turuvchi kuch (suyuqlikning sirt taranglik kuchi) ga teng (aniqrog`i undan ozgina katta) bo`lganda tomchi uziladi, Tomchining uzilish momentidagi P og`irligi uning «bo`yin» aylanasi bo`ylab ta'sir etuvchi F sirt taranglik kuchiga teng bo`lib qoladi. Agar tomchining uzilish joyidagi tomchi «bo`yni»ning radiusini nayning r radiusiga teng deb olsak, tomchining og`irligi

og`irligi uning «bo`yin» aylanasi bo`ylab ta'sir etuvchi F sirt taranglik kuchiga teng bo`lib qoladi. Agar tomchining uzilish joyidagi tomchi «bo`yni»ning radiusini nayning r radiusiga teng deb olsak, tomchining og`irligi

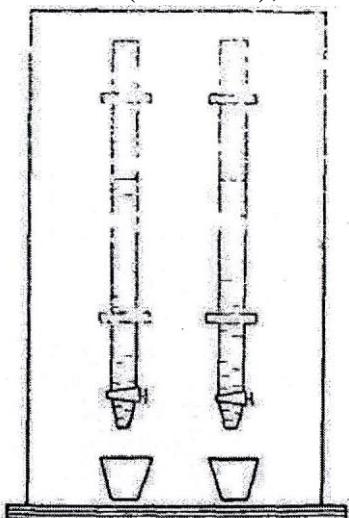
$$R = \alpha \cdot 2\pi r \text{ yoki } P = \lambda \cdot \pi d \quad (1)$$

ga teng bo`ladi. Bu erda  $d$  — tomchi «bo`yni» ning diametri (12-rasmga qarang), a — suyuqlikning sirt taranglik koeffitsnenti,

Tajribada bitta tomchini (emas, balki n ta (masalan, 50 ÷ 100 ta) tomchining  $P$  og`irligini tarozida tortib, so`ng bitta tomchi uchun  $P$  ning qiymatini aniqlash maqsadga muvofiq bo`ladi. Bu holda  $2\pi r \cdot a = \frac{P_1}{n}$  bo`ladi.  $P_1 = mg$  ekanligini nazarda tutsak,

$$\alpha \cdot 2\pi r = \frac{mg}{n} \quad (2)$$

bo`ladi, bunda  $n$  ta tomchining massasi  $m$  ga teng. Tomchi «bo`yni»ning radiusini aniqlash qiyin, SHuning uchun uni o`lchamasdan, taqqoslash usulidan foydalangan holda sirt taranglik koeffntsentrni hisoblab TOPISH mumkin. Buning uchun ikki xil suyuqlik olinadi va ular tor uchlarining ichki radiuslari bir xil bo`lgan naychalarga solinadi (13-rasm),



13-rasm

Suyuqliklardan birining zichligi  $p_1$ , sirt taranglik koeffitsenti  $a_1$  ikkinchi suyuqlikning zichligi  $p_2$ , sirt taranglik keffisienti  $a_2$  bo`lsin. Ikkala suyuqlikdan ma'lum bir xil  $V$  hajmdagi qismlarining oqib o'tishidagi hosil bo`ladigan tomchilar soni  $n_1$  va  $n_2$  bo`lsin, Har ikki suyuqlik uchun (2) tenglamani yozib,  $m=pv$  ekanini e'tiborga olib, quyidagilarga ega bo`lamiz

$$\gamma 1 \cdot 2\pi r = \frac{Vp_1 g}{n_1}, \alpha 2 \cdot 2\pi r = \frac{Vp_2 g}{n_2} \quad (3)$$

Ularning birini ikkinchisiga nisbatini olsak,

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{n_2 p_1}{n_1 p_2} \text{ Bunda } \alpha_1 = \alpha_2 \frac{n_2 p_1}{n_1 p_2} \quad (4)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu formula yordamida tekshirilayotgan suyuqlikning sirt taranglik koeffisienti  $\alpha_1$  ni aniqlash mumkin. Etalon suyuqlik sifatida suv olinadi. Suvning  $a_2$  sirt taranglik koeffisientining,  $\gamma_2$  zichligining va tekshirilayotgan suyuqlikning  $p_1$  zichligining son qiymati tegishli jadvallardan olinadi.

### Ishni bajarish trtibi

1. Dastlab naychalarining tozaligiga ishonch hosil qilib, so`ng ularning biriga tekshirilayotgan suyuqlik, ikkinchisiga toza suv quyiladi. (Suyuqliklar sathi balandliklarini taxminan bir xil qilib olish maqsadga muvofiqdir.)

2. Naycha jo`mraklari suyuqliklar sekinlik bilan tomchilaydigan qilib ochiladi, Bu vaqtida har bir suyuqlikdan bir  $\sigma$  hajmga ega bo`lgan qismini stakanchalarga asta tomchilatib, tomchilar soni  $n_1$  va  $n_2$  ni sanaladi,

3.  $r_1$ ,  $r_2$  va  $a$  larning qiymatlarini jadvaldan topib yozib olinadi va (11) formuladan  $a_1$  ning qiymati hisoblab topiladi.

4. Tajribani har qaysi suyuqlik uchun bir necha (8—10) marta takrorlab,  $a_1$  ning o`rtacha qiymati topladi.

5. Absolyut va nysbiy xatoliklar aniqlanadi
6. Tajriba natijalari quyidagi 5-jadvalga yoziladi.
7. Oxirgi natijani quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha_1 = \langle \alpha_1 \rangle \pm \langle \Delta \alpha \rangle.$$

**5-jadval**

Tartib raqami	$p_1$ $\text{kg/m}^3$	$p_2$ $\text{kg/m}^3$	$a_1$ $\text{H/m}^3$	$n_1$	$n_2$	$a_1$ , $\text{H/m}$	$\langle a_1 \rangle$ , $\text{H/m}$	$\frac{\langle \Delta a_1 \rangle}{\langle a_1 \rangle} \cdot 100\%$
1								
2								
3								
....								

8. a uchun topilgan natijani suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsienti jadvalidagi natijalar bilan taqqoslagan holda qandan suyuqlik tekshirilayotganligi aniqlanadi.

### **QATTIQ JISMLARNING TEMPERATURAVIY CHIZIQLI KENGAYISH KOEFFITSIENTINI ANIQLASH.**

**Kerakli asbob va materiallar:** 1) Qurilma, 2) Metall sterjenlar to`plami, 3) Suv bug'latgich, 4) Indikator, 5) Rezina naylar, 6) Millimertli lineyka.

### **QISQACHA NAZARIY MA`LUMOT**

Qattiq jismning temperaturasi ortishi bilan kristall panjaradagi zarralar orasidagi o`rtacha masofa ortadi. Qizdirilganda zarralar orasidagi masofaning o`zgarishiga sabab nima. Qattiq jism zarralariga masofaga bog'liq bo`lgan atomlar — aro o`zaro ta`sir kuchi ta`sir qiladi. Kristall panjara tugunidagi zarralar faqat biror muvozanat xolat atrofida tebranma harakat bajara oladi. Qattiq jismning ichki energiyasi zarralarning tebranma harakat energiyasidan iborat bo`lib, bu energiya uning temperaturasi orqali aniqlanadi. Panjaradagi zarralar nogarmonik tebranma harakat qiladi. Buning sababi o`zaro ta`sir kuchining zarralar orasidagi masofaga murakkab bog'liqligidadir: zarralar orasidagi masofa nisbatan katta bo`lganda o`zaro ta`sir tortishish kuchi sifatida namoyon bo`lib, masofaning kamayishi bilan u ishorasini o`zgartiradi va tez o`zgaruvchi itarish kuchiga aylanadi. Boshqacha aytganda zarraning qo`shni zarraga yaqinlashishiga qaraganda undan uzoqlashishi "osonroqdir". Demak, jismni isitish zarralar orasidagi o`rtacha masofaning ortishiga, ya`ni jismning xajmiy kengayishiga olib keladi. Shunday qilib, qattiq jismning issiqlikdan kengayishiga sabab kristall panjaradagi zarralar tebranma harakatining nogarmonikligidadir.

### **USULNING NAZARIYASI**

Issiqlikdan kengayish miqdoriy jixatdan chizig'iy kengayish koeffitsienti bilan xarakterlanadi va quyidagicha aniqlanadi. Aytaylik, uzunligi  $B_0$  bo`lgan jism temperaturasini  $\Delta T$  qadar o`zgartirilganda u  $\Delta l$  qadar uzaysin. U xolda chizig'iy kengayish koeffitsienti quyidagi munosabatdan aniqlanadi;

$$a = \frac{\Delta l}{\Delta T l_0} \quad (1)$$

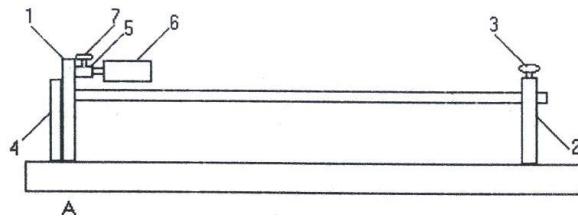
Ya'ni chiziqli issiqlikdan kengayish koeffitsienti son qiymat jixatdan temperaturaning o`zgarishi bir birlikka teng bo`lganda uzunlikning nisbiy o`zgarishiga teng va o`lchov birligi  $1/\text{grad}$ . (1) ifodaga asosan keyingi temperaturasidan  $\Delta T$  ga farq qiladigan jism uzunligi  $l_t$ , quyidagi formuladan aniqlanadi

$$l_t = l_0(l + \alpha \Delta T)$$

bu erda  $l_0$  — jismning boshlang'ich uzunligi.

## TAJRIBA QURILMASI VA O`LCHASHLAR.

Qurilma A yog'och taglik (1 — rasm) ustiga maxkamlangan. Taglikdagi ikkita tirkakka (1 va 2) tekshirilayotgan sterjenlardan biri o`rnatilib, uning bir uchi 3 vint



1-rasm

yordamida qo`zg'almas qilib maxkamlanadi. Sterjenning ikkinchi uchidagi 4 plastinka sterjenni 2 tirkakda parallel o`rnatish uchun xizmat qiladi. Tirkakdagagi 5 nayga 6 o`lchash indikatori o`rnatilib, 7 vint yordamida maxkamlanadi. (1) formuladan ma'lumki, chizig'iy kengayish koeffitsientini aniqlash uchun sterjenning  $l_0$  boshlang'ich uzunligini  $\Delta l$  uzunlik o`zgarishini va  $\Delta T$  temperatura o`zgarishini o`lchash kerak. Bularni o`lchash quyidagi tartibda bajariladi.

1. Sterjenni tirkaklarda shunday o`rnatish kerakki undagi 4 plastinka 4 tirkakka tegib tursin va sterjen 3 vint yordamida maxkamlansin. Sterjenning  $l_0$  boshlang'ich uzunligi deb, 4 plastinkaning ichki sirtidan 3 vintning markazicha bo`lgan masofa olinadi va uni millimetrlı chizg'ich yordamida 1mm aniqlik bilan 5—6 marta o`lchanadi.

2. O`lchash indikatorini shunday o`rnatish kerakki, uning qo`zg'aluvchan uchi 4 plastinkaga tegib tursin. Indikatorni o`rnatish ikki etapdan iborat: a) indikatorni oldinga yoki orqaga surib millimetrlı shkala noliga moslanadi; undan so`ng, indiktor tsiferblatini burib, strelka uzayishini 0,01 mm aniqlikda o`lchaydigan katta shkala noliga to`g'rilanadi.

3. Suv bug'latgichga suv to`ldirilib, tok manbaiga ulanadi. Sterjen rezinka naylar yordamida suv bug'latgich bilan tutashtirilib, uning isish natijasida uzayishi indikator milining siljishidan kuzatiladi. Sterjen temperaturasi bug' temperaturasiga tenglashganda kengayish to`xtab, bug' o'tishi davom etgani xolda indikator ko`rsatishi o`zgarmay qoladi. Indikatorning bu xoldagi ko`rsatishi sterjen

uzunligining  $\Delta l$  o`zgarishiga teng bo`ladi va uni yozib olinadi.

4. Uzunlikning  $\Delta l$  o`zgarishiga mos keluvchi  $\Delta T = T_k - T_0$  temperatura o`zgarishini, ya`ni suvning qaynash temperaturasi  $T_k$  bilan xona temperaturasi  $T_0$  orasidagi ayirMani aniqlash kerak. Xonadagi

atmosfera bosimini bilgan xolda  $T_k$  ni jadvaldan,  $T_0$  ni esa xonadagi termometrdan olinadi.

Xar bir stenjen uchun o`lchashlar yuqorida bayon qilingan tartibda kamida 5 — 6 marta bajariladi. Xar safar sterjenlar suv quvuri suvi bilan xona temperaturasigacha sovutiladi. Tajribadan olingan natijalarni 1 jadvalga yoziladi.

1 — jadval

Tartib raqami	$\Delta l_i$	$\varepsilon_i = \Delta l - \Delta l_i$	$\varepsilon_i^2$	$l_{0i}$	$l_0$	$\Delta T$	$\alpha$
1							
2							
3							
...							

1 — jadval ma`lumotlardan foydalaniib, (1) ifodadan jismlarning chizig'iy kengayish koeffitsientlari xisoblanadi. Hisoblashdagi xatolik (1) asosida differentsial usulda aniqlanadi.

$$\Delta \alpha = \alpha \sqrt{\left[ \frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l} \right]^2 + \left( \frac{\Delta l_0}{l_0} \right)^2 + \left( \frac{\Delta T}{T_k - T_0} \right)^2}$$

$$\Delta(\Delta l) = \sqrt{t_\alpha^2(n) S \frac{2}{\Delta l} + \left( \frac{t_\alpha(\infty)}{3} \right) \delta^2}$$

bunda sterjen uzunligini o`zgarishini

aniqlashdagi xatolikni ifodalaydi, bu erda  $\delta$  indikatorning aniqligi,  $S_{\Delta l}$  o`rtacha kvadratik xatolik,  $\Delta l_0$  sterjenning boshlang'ich

uzunligini aniqlashdagi xatolik,  $\Delta t_0$  xona temperaturasini o`lchashdagi xatolik.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Umumi fizika kursi. Molekulyar fizika. O'qituvchi, Toshkent-1978, 507 bet.
2. Sivuxin D.V. Umumi fizika kursi. Termodinamika va molekulyar fizika. O'qituvchi. Toshkent-1984, 526 bet.
3. Nazirov E.N. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizikadan praktikum. O'zbekiston. Toshkent-2001.
4. Савельев И.В.. Курс общей физики. Молекулярная физика и термодинамика. Изд. Астель 2002. с.208.

5. Сивухин Д.В.. Курс общей физики. Том II. Термодинамика и молекулярная физика. М., Физ-матлит. 2003, 575 стр.
6. Abdullaev R.M., Sattorov X.M., Tursunmetov K.A. Molekulyar fizika. Umumiy fizika fanidan praktikum. Toshkent, “Universitet” -2008 y. 106 bet.
7. Halliday, Resnick, Walker. Fundamentals of Physics..
8. Paul A. Tipler, Gene Mosca, Physics\_for\_Scientist (6<sup>th</sup> edition)
9. Рейф Ф. Статистическая физика. М., Наука 1977, 351 бет.
10. Axmadjonov O. Mexanika va molekulyar fizika. O’qituvchi. T-1985,287 bet.
11. Киттель Ч.. Элементарная статистическая физика. И Л 1980.
12. Матвеев А.Н. Молекулярная физика М., Высшая школа, 1987, 360 стр
13. Зайдель И.. Элементарные оценки ошибок измерений. М., 1959.
14. Телеснин Р.В. Молекулярная физика. М., Высшая школа, 1965, 298 стр.
15. Abdullaev R.M., Xamidjonov I., Karabaeva M.A. «Molekulyar fizika», Universitet, T- 2003, 121 bet.
16. Abdullaev R.M., Sattorov X.M.. «Molekulyarnaya fizika» Obshiy fizicheskiy praktikum. Universitet, T-2004, 102 s

## MUSTAQIL TA'LIM

- 1.Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va eng kata ehtimolli tezliklari. Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish.
- 2.Suyuqliklarning bug'lanishi va qaynashi.
- 3.Metallarda diffuziyaning mehanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.
  - 4.Taqsimot funksiyalarini qiyosiy tahlil qilish
5. Maruza mashg'ulotlariga, amaliy mashg'ulotda berilgan vazifalarga va laboratoriya ishlariga bajarish va tayyorlanish

Mustaqil ta'lism mavzulari	Soati
Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va eng kata ehtimolli tezliklari. Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish.	
Suyuqliklarning bug'lanishi va qaynashi.	
Metallarda diffuziyaning mehanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.	270
Taqsimot funksiyalarini qiyosiy tahlil qilish	
Maruza mashg'ulotlariga, amaliy mashg'ulotda berilgan vazifalarga va laboratoriya ishlariga bajarish va tayyorlanish	

# GLOSSARIY

**Molekulyar fizikafaniga kirish** - Modda haqidagi molekulyar - kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzilishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari. Modda xossalari o'rganishdagi dinamik, statistik va termodinamik usullar.

**Ideal gazlarning kinetik nazarnysi** - Ideal gaz bosimi. Gaz molekulyar - kinetik nazariyäsining asosiy tenglamasi. Temperatura. Ideal gaz holat tenglamasi. Ideal gaz qonunlari. Gaz molekulalarining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati. Barometrik formula. Perren tajribasi. Boltsman qonini. Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyäsining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar. Taqsimot funksiyasi. Gaz molekulalarining komponentalari bo'yicha taqsimoti. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti. Maksvell-Boltsman taqsimoti. Nisbiy tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimoti. Gaz molekulalarinikg o'rtacha arifmetik va eng katta ehtimolli tezliklari. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish. Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi to'grisidagi tushuncha.

**Issiqlik kinetik nazarnysi** - Ideal gaziing ichki energiyasi. Issiqlik miqdori. Termodinamikaniig 1- qonuni. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sigimi. Gazlarning issiqlik sigimi va molekulalarning erkinlik darjasи. Teng taqsimot qonuni. Ikki va ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imi. Issiqlik sig'imining kvant nazaryasi. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish. Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgai ish. Politropik jarayon.

**Ko'chish jarayonlarning elementar kinetik nazariyasi** - Molekulyar harakatlar va ko'chish hodisalari. Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li. Diffuziya va modda ko'chishi. Statsionar va nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik. Qovushoqlik. Ko'chish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish.

**Real gazlar** - Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarning suyuqlanishi. Eksperimental izotermalar. Fazaviy o'tish. Fazaviy diagrammalar. Real gazlarning holat tenglamasi. Van-der-Vaals izotermalari. Kritik holat. Van-der-Vaalsning

keltirilgan tenglamasi. Mos holatlar qonuni. Van-der-Vaals tenglamasini tajriba mal’umotlari bilan taqqoslash.

**Termodinamika elemeitlari** - Muvozanatlari va muvozanatsiz jarayonlar.

Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning birinchi bo’sh qonuni.

Issiqlikning mexaniqaviy ishga aylantirish. Siklik jarayon va Karno sikli. Entropiya. Klauzius tengsizligi. Termodinamikaning II qonuni.

Termodinamik munosabatlar. Entropiya va ehtimollik. Entropiya va tartibsizlik.

Termodinamikaning III bosh qonuni. Manfiy temperaturalar.

**Suyuqliklarning xossalari.** - Suyuqliklarning issiqlik sig’imi. Suyuqlik chegarasida bo’ladigan hodisalar. Suyuqlik egri sirtida yuzaga keluvchi kuchlar.

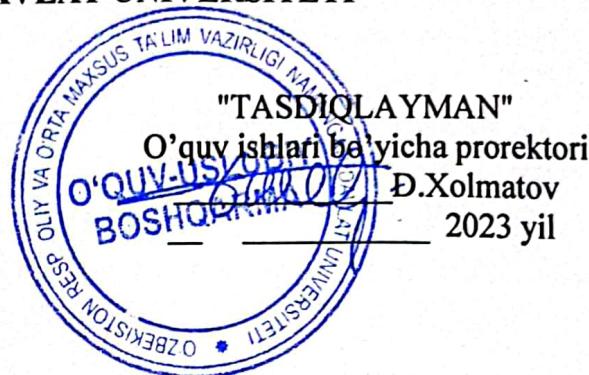
Kapillyar hodisalar. Sirt taranglik koeffitsentini o’lchashning metodlari.

Suyuqlikning bug’lanishi. Suyuqlikning qaynashi. Osmotik bosim. Vant - Goff qonuni.

**Kristallar** - Kristall panjara va ularning turlari. Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi. Polimorfizm. Kristallar anizotropiyasi. Metallarda diffuziyaning mexanizmlari. Metallarning issiklik sigimi.

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI**



**MOLEKULYAR FIZIKA  
FANINING**

**O'QUV DASTURI**

**1- kurs uchun**

- Bilim sohasi:** 500000 – Tabiiy fanlar matematika va statistika  
**Ta'lif sohasi:** 530000 – Fizika va tabiiy fanlar  
**Ta'lif yo'nalishi:** 60530900 – Fizika (kunduzgi)

**Namangan-2023**

Fan/modul kodi MOLB106	O'quv yili 2023/2024	Semestr 1	ECTB – Kreditlar 6
Fan/modul turi Majburiy	Ta'lif tili O'zbek		Haftadagi dars soatlari 6
Fanning nomi	Auditoriya mashg'ulotlari (soat)	Mustaqil ta'lif (soat)	Jami yuklama (soat)
1. Molekulyar fizika	90	90	180

2. **I. Fanning mazmuni**  
**Fanning maqsadi** – talabalarga fizik hodisalar, ularning mexanizmlari, qonuniyatları va amaliy qo'llanishlari bilan tanishtirishdir. Umumiy fizika fanining asosiy vazifasi talabalarda ilmiy-amaliy dunyoqarashni, ya'ni fizikaviy hodisalarning tabiatini to'g'ri tasavvur qilish, tabiiy fanlar sohasida qo'yilgan har bir aniq vazifalar mazmunini umumiy fizika qonunlari bilan bog'lash; asosiy fizikaviy o'Ichov asbob-uskunalaridan foydalana bilish.

**Fanning vazifasi** – fizika fanining rivojida o'zbek allomalarining qo'shgan hissalaridan g'ururlanishni shakllantirishdir; talabalarning mustaqil ishlash malakasini, tahliliy mulohaza yuritish qobiliyatini, shuningdek asosiy va qo'shimcha adabiyotlardan foydalanish mahoratini o'stirish.

### II. Asosiy nazariy qism (ma'ruba mashg'ulotlari)

#### II.1. Fan tarkibiga quyidgi mavzular kiradi

		Dars mavzusi	Darsga kelishdan oldin o'rganish zarur bo'lgan materiallar	Fan topshiriqlari va ularning bajarilish muddati
1	1 Hafta	Kirish. Molekulyar fizikaga kirish. Modda haqida molekulyar – kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzulishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
2		Modda xossalari.Moddaning xossalari o'rganishdagi dinamik, statistic va termodinamik usullari	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
3		Ideal gaz bosimi.Gaz-molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish

		2 Hafta		3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
	4		Temperature.Ideal gaz holat tenglamasi	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
	5	3 Hafta	Ideal gaz qonunlari.Gaz molekulalarining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati..	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
	6		Barometrik formula. Perren tajribasi. Bolsman qonuni.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
	7	4 Hafta	Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
	8		Taqsimot funksiyasi. Gaz molekulalarining komponentalari bo'yicha taqsimoti.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
	9	5 Hafta	Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti. Maksell-Bolsman taqsimoti	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
	10		Nisbiy tezliklar	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics.	

		bo'yicha Maksvel taqsimoti. Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik va eng katta ehtimolli tezliklari	2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
11	6 Hafta	Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish. Fermidirak va Boze-Eynshteyn statistikasi to'g'risidagi tushuncha.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
12		Ideal gazning ichki energiyasi. Issiqlik miqdori. Termodinamikaning 1-qonuni.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
13	7 Hafta	Ideal gazlarning issig'lik sig'imi. Bir atomli gazlarning issig'ik sig'imi.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
14		Gazlarning issiqlik sig'imi. Gazlarning issiqlik sig'imi va molekulalarning erkinlik darajasi.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	
15	8 Hafta	Ikki va ko'p atomli gazlar. Ikki va ko'p atomli gazlarning issig'lik sig'imi. Teng taqsimot qonuni.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
16		Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish. Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.	

		Politropik jarayon.		
17	9 Hafta	Molekulyar harakatlari va ko'chish hodisalari. Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'lli. Diffuziya va modda ko'chishi.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
18		Nostatsionar va statsionar diffuziya.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	
19	10 Hafta	Issig'lik o'tkazuvchanik hodisasi. Fur'e qonuni. Statsionar va nostatsionar issig'lik o'tkazuvchanlik.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
20		Qovushoqlik. Ko'chish koeffisiyentlari orasidagi bog'lanish.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	
21	11 hafta	21-mavzu. Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarning suyulishi. Eksperimental izotermalar.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
22		Real gaz holat tenglamasi. Van-der-Vaals izotermalari.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	
23		Fazaviy o'tish. Fazaviy diagrammalar	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega

		12 Hafta		Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	bo'lish
24			Kritik holat va parametrlar. Van-der-Vaals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan solishtirish.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	
25		13 Hafta	Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasini. Mos holatlar qonuni	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
26			Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning Birinchi bosh qonuni. Siklik jarayon va Karno sikli.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	
27		14 hafta	Entropiya. Qaytar va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi. Klauzius tengsizligi. Termodinamikaning 2-qonuni.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
28			Entropiya va ehtimollik. Entropiya va tartibsizlik. Termodinamikaning 3-qonuni. Manfiy temperaturalar.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	
29		15 Hafta	Suyuqliklarning hajmiy xossalari. Suyuqliklardagi kuchlar. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar. Sirt taranglik.	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumi fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Матвеев А.Н. Механика -М.: Виsshaya shkola, 1981.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish

	30	<b>30-mavzu. Kristall panjara va ularning turlari. Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi. Plimorfizm. Kristallar anizatropiyasi. Metallarda diffuziyaning mehanizmlari. Metallarning issig'lik sig'imi.</b>	1.Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.) 2. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984. 3. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Visshtaya shkola, 1981.	
--	----	--	--	--

### Amaliy mashg'uotlar

		Dars mavzusi	Darsga kelishdan oldin o'rganish zarur bo'lgan materiallar	Fan topshiriqlari va ularning bajarilish muddati
1	1 Hafta	Molekulyar fizikaning mazmuni. Modda miqdori, molyar va nisbiy molekulyar massa, konsentratsiya va molekulalar sonini hisoblash.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
2	2 Hafta	Ideal gazning kinetic nazariyasi. Ideal gazning bosimi. Gaz molekulalarining o'rtacha kinetic energiyasi va gazning mutlaq harorati orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
3	3 Hafta	Ideal gaz qonunlari yordamida gazning holat parametrlarini aniqlash. Ideal gazning holat tengamasini qo'llashga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
4	4 Hafta	Gaz aralashmalarining molyr massasini va holat parametrlarini hisoblash. Barometrik formulani qo'llash va Bolsman taqsimotiga	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish

		doir masalalar yechish.		
5	5 Hafta	Molekulalarning tezliklar va kinetic energiyalar bo'yicha taqsimoti. Molekulalarning harakterli tezliklarini hisoblash.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
6	6 Hafta	Ko'chish jarayonlarining elementar kineticknazariysi, Molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi va molekulalarning to'qnashuvlar soni.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
7	7 Hafta	Issiqlik o'tkazuvchanlik va energiya ko'chishi. Fur'e qonuni.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
8	8 Hafta	Diffuziya oqimi va diffuziya koeffitsiyentini hisoblash. Impuls oqimini va qovushoqlik koeffitsiyentini hisoblash.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
9	9 Hafta	Issiqlik oqimi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentilari orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
10	10 Hafta	Issiqlikning kinetic nazariyasi va termodinamika elementlari, Ideal gazning ichki energiyasining erkinlik darajalari bo'yicha taqsimotiga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
11		Gazga berilgan issiqlik miqdori, gazning ishi va ichki	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega

	11 hafta	energiyasining o'zgarishi orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblash.	2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	bo'lish
12	12 Hafta	Ideal gazning issig'lik sig'imini hisoblash. Issiqlik mashinalarining foydali ish koefitsiyentlari va ideal gaz jarayonlarida entropiya o'zgarishini hisoblash.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
13	13 Hafta	Real gazlar va suyuqliklar, Real gazlarning holat parametrlerini va ichki energiyasini hisobash.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
14	14 hafta	Suyuqliklarning sirt tarangligi va kapilyar hodisalarga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish
15	15 Hafta	Qattiq jism, panjara parametrlerini va qattiq jismlarning issig'lik sig'imlarini hisoblashga doir masalalar yechish.	1.CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y. 2. Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.	Mavzuga oid nazariy bilimga ega bo'lish

Ma'ruza, amaliy va laboratoriya mashg'ulotlar davomida talabidan:

- har bir amaliy mashg'ulotni qoldirmasdan qatnashish,
- darsga vaqtida yetib kelish,
- dars vaqtidan oldin barcha o'qish va topshiriqlarni bajarish,
- darsdagи muhokamalar va topshiriqlarda faol ishtirok etish,
- dars muloqotida guruhdoshlari va o'qituvchilariga nisbatan xushmuomala va hurmatli bo'lish kutiladi.

Agar talaba dars qoldirishiga to'g'ri kelsa, o'z vaziyatini yozma holda o'zi o'qiyotgan fakultet dekani/o'rinnbosariga habar beradi va fakultet dekani/o'rinnbosari vaziyatni sababli deb topsagina talabaga yozma ruxsat beradi va qoldirilgan dars talaba davomati jurnaliga dekanat tomonidan sababli deb kiritiladi. Ushbu ruxsatnoma nusxasini talaba fan o'qituvchiga darsni qoldirishdan oldin taqdim

etishi kutiladi. Aks holda talaba sababsiz dars qoldirilgan deb hisoblaniladi va talaba davomati jurnaliga fan o'qituvchisi tomonidan darsga kelmaganligi qayd etiladi. **Talaba sababli yoki sababsiz dars qoldirishidan qat'iy nazar qoldirilgan dars uchun tayinlangan o'quv materiallari va vazifalar bo'yicha kamida 5 betlik yozma (A4 format) javob qog'ozini keyingi dars boshlangunga qadar topshirishi va yangi dars boshida yozma hisbotni 2-4 minutlik himoya qilishi lozim** (bunday holda hech qaysi talaba biror sabab tufayli, kasaligi masalan, mustasno emas). Eslatma: auditoriya dars soatini talaba sababli maksimum 8 soatgacha qoldirish mumkin (Izoh: ushbu soatlar auditoriya dars soatiga nisbatan o'zgarishi mumkin).

#### **Dars qoldirgan talaba uchun namunaviy savollar:**

- 1.Siz dars mavzusi bo'yicha qanday yangi bilimlarni o'zlashtirdingiz (kamida 10 ta)
- 2.Mavzu doirasida avvaldan nimalarni bilardingiz va bu bilimlar mavzuni o'zlashtirishga qanday yordam berdi?
- 3.Mavzuni o'rganishda siz uchun uchun qiyin va oson juhatlar nimada?
- 4.Kelgusida ushbu mavzu bo'yicha bilim va ko'nikmalarni qanday foydalanasiz? (Javob varag'ida har bir savol va uning javobi ko'rsatilsin).

#### **Baholash mezoni**

Fan toshiriqlari	Foizi	Topshirish muddati
<b>Darsga tayyor holda ishtirok etish, muhokama qilish va topshiriqlarini bajarish</b>	<b>15%</b>	<b>Har hafta</b>
<b>Dars vaqtidagi ishtiroki (masalalar ishlash)</b>	<b>15%</b>	<b>2,3 hafta</b>
<b>Uyga vazifa(masalalar ishlash)</b>	<b>20%</b>	<b>Har hafta</b>
<b>Oraliq nazorat</b>	<b>20%</b>	<b>14- hafta</b>
<b>Yakuniy nazorat</b>	<b>30%</b>	<b>15- hafta</b>
<b>Umumiy</b>		<b>100%</b>

#### **Baholash uchun topshiriqlarning bat afsil tavsiflari, takliflari va baholash kreterialari/rubrikalari**

**Topshiriq nomi:** *Darsga tayyor holda ishtirok etish, muhokama qilish va topshiriqlarini bajarish-*  
**Topshiriqning tasnifi:** Siz hamma darslarda qatnashishingiz shart, chunki bu kurs muhim interaktiv komponentni o'z ichiga oladi. Siz turli kichik guruhlar, dars muhokamalari va fan topshiriqlarini bajarish faoliyati orqali o'rganish tajribasida faol ishtirok etishingiz kutiladi. *Kundalik dars vazifalarini bajarish orgali har haftalik dars mavzulariga tayyorgarlik ko'rishingiz kerak bo'ladi.* Axborotni tahlil qilish va uni tengdoshlaringiz bilan muhokama qila olish sizning kasbiy

rivojlanishingiz uchun ham muhimdir. *Shu maqsadda, bu baho nafaqat dars mashg'ulotlariga qatnashganingizga, balki har bir mavzu bo'yicha haftalik sinf muhokamalariga tayyorligingiz va mazmunli hissa qo'sha olishingizga bog'liq.*

**Mantiq:** Ushbu faoliyat talabada fanni o'rganishda qat'iylikni namoyon qilish, topshiriqlarni bajarishda mas'uliyatni his qilish, jamoada o'z xatti-harakatini nazorat qilish, dars jarayonida bilim, ko'nikma va malakalarini ko'rsatib bera olish, tartibli va mulohazali bo'lismiga undaydi.

#### Talaba ushbu me'zon yordamida baholanadi:

Standartlarga javob beradi yoki oshib ketadi 12-15 ball	Standartlarga qisman javob beradi 8-11 ball	Standartga harakat qildi 0-7 ball
Fanni o'rganishda, intilishda qat'iylikni doimiy ravishda namoyish etadi; o'zining hulqi/ishtiroki darajasini nazorat qiladi;	Fanni o'rganishda, intilishda qat'iylikni doimiy ravishda namoyish etadi; ba'zan o'zining hulqi/ishtiroki darajasini nazorat qilolmaydi;	Vaqti-vaqti bilan fanni o'rganishda, intilishda qat'iyatlilikni namoyon qiladi va hulqi/ishtirokini kamdan-kam hollarda nazorat qiladi.
Juftlik, guruh va butun sinf ishi davomida darsda ingliz tilidan (70-100%) doimiy ravishda foydalanadi.	Juftlik, guruh va butun sinfda ishlash jarayonida tez tez ingliz tilidan (40-60%) foydalanadi.	Ko'pincha juftlik, guruh va butun sinf ishi davomida ingliz tilidan darsda foydalanmaydi (10-30%)
Har doim dars jarayoniga ixtiyoriy ravishda ishtirok etadi; savollarga tez-tez javob beradi; mulohazali nuqtai nazarga hissa qo'shami.	Ko'pincha o'z xohishi bilan ishtirok etadi; vaqtি-vaqtি bilan savollarga javob beradi; vaqtি-vaqtি bilan fikr almashadi	Kamdan-kam hollarda ixtiyoriy ravishda ishtirok etadi; kamdan-kam hollarda savollarga javob bera oladi; nuqtai nazarini kamdan-kam baham ko'radi.
Dars davomida har doim to'g'ri harakat qiladi; darsga har doim hozir bo'ladi; kech qolmaydi yoki darsni sababsiz qoldirmaydi va topshiriqlarni o'z vaqtida topshiradi	Ko'pincha dars davomida to'g'ri harakat qiladi; ba'zan darsga kech qoladi; aksariyat topshiriqlar o'z vaqtida bajariladi	Sinfda chalg'ituvchi yoki chalg'ituvchi xatti-harakatlar qiladi (masalan telefondan maqsadsiz foydalanish); ko'p hollarda darsga kech qoladi; topshiriqlar belgilangan muddatdan keyin topshirilgan
Har doim darsga tayyorlanish orqali o'rganishga bo'lgan sadoqatini namoyon etadi; har doim kundalik vazifalar o'z vaqtida bajaradi.	Umumiylashtirishda ishlash 15%	Umuman tayyor emas; kamdan-kam hollarda kundalik vazifalar o'z vaqtida bajaradi.

#### Topshiriq nomi: Dars jarayonida masalalar ishlash 15%

**Topshiriq tasnisi:** Talabalarni amaliy mashg'ulotlarga to'la qatnashib, fanning turli bo'limlari bo'yicha misol va masalalarni auditoriyada yechishlari talab qilinadi. Har bir masala ishlanish darajasiga qarab 5 baxo (15%) tizimda baholanadi.

**Mantiq.** Ushbu faoliyat talabada mashg'ulot vaqtida mavzuga oid masalalarni mustaqil ravishda yechish, tahlil qilish va masala ishlash ko'nikmalarini shakllantiradi. Zarur ma'lumotlarni qisqa, tushunarli va oson ifodalashda texnogiya vositalaridan foydalanish ko'nikmasini shakllantiradi va rivojlantiradi. Yangi bilimlarni o'zlashtirishda mas'uliyatni o'z bo'yninga olish, qat'iylikni namoyish

qilishga undaydi.

#### Talaba ushbu me'zon yordamida baholanadi:

Masalani quyidagicha baholanadi:

- to'liq yechilgan, bo'lim bo'yicha olgan nazariy bilimlarni masala yechishda to'g'ri qo'llangan bo'lsa – 5 baxo (13.5-15%)
- to'liq yechilgan, yechish yo'li to'g'ri tanlangan, ammo uni yechishda ayrim kamchiliklarga yo'l qo'yilgan bo'lsa – 4 baxo (10.5-13.4%).
- yechish uchun kerakli formulalar barchasi to'g'ri tanlangan, ammo uni noto'g'ri echilgan bo'lsa - 3 baxo (9-10.4%).
- yechish uchun kerakli formulalar ayrimlari to'g'ri tanlangan bo'lsa, noto'g'ri yechilgan bo'lsa– 2 baxo (0-8.9%).

**Topshiriq nomi: Uyga vazifa 20 %**

**Topshiriq tasnisi:** Ushbu topshiriqnii bajarish uchun talabaga dars mashg'ulotida berilgan vazifalarni yozma varianti (PDF, Word shaklida) hemis dasturining topshiriqlar qismiga belgilangan muddatgacha yuklaydi.

**Mantiq:** Talabaning nazariy olgan bilimlarini mustahkamlashga, mustaqil ishlashga va amaliyotga qo'llashga turtki beradi.

#### Talaba ushbu me'zon yordamida baholanadi:

Masalani quyidagicha baholanadi:

- to'liq yechilgan, bo'lim bo'yicha olgan nazariy bilimlarni masala yechishda to'g'ri qo'llangan bo'lsa – 5 baxo (18-20%)
- to'liq yechilgan, yechish yo'li to'g'ri tanlangan, ammo uni yechishda ayrim kamchiliklarga yo'l qo'yilgan bo'lsa – 4 baxo (14-17.8%).
- yechish uchun kerakli formulalar barchasi to'g'ri tanlangan, ammo uni noto'g'ri echilgan bo'lsa - 3 baxo (12-13.8%).
- yechish uchun kerakli formulalar ayrimlari to'g'ri tanlangan bo'lsa, noto'g'ri yechilgan bo'lsa– 2 baxo (0-11.8%).

**Topshiriq nomi: Oraliq nazorat-20%**

**Topshiriqning tasnisi:** Fanning bo'limlari bo'yicha savol-javob yoki yozma ish ko'rinishida semestr davomida 2 marta ( $2 \times 10 = 20\%$ ) o'tkaziladi. Har bir yozma ishda 2 tadan nazariy savol va 3 ta masala bo'lib, ularni har biri bajarilgan ish hajmi va sifatiga qarab 5 baho tizimda beriladi.

**Mantiq:** Talabaning nazariy olgan bilimlarini mustahkamlash, mustaqil ishlashga qaratilgan.

#### Siz ushbu me'zon yordamida baholanasiz:

Masala quyidagicha baholanadi:

- to'g'ri yechilgan, barcha formulalar to'g'ri va o'z o'mida qo'llangan bo'lsa – 5 baxo (18-20%)
- to'g'ri yechilgan, ammo yechishda formulalarda ayrim kamchiliklarga yo'l qo'yilgan bo'lsa – 4 baxo (14-17.8%).
- to'liq yechilmagan, yechishda formulalarda ayrim kamchiliklarga yo'l qo'yilgan bo'lsa – 3 baxo (12-13.8%).
- formulalar noto'g'ri keltirilgan va masala noto'g'ri echilgan bo'lsa – 2 baxo (0-11.8%).

**Topshiriq nomi: Yakuniy nazorat- 30 %**

**Topshiriqning tasnisi:** Yakuniy nazorat alohida mavzularga asoslangan bitta nazariy savol va ikkita amaliy masaladan(ikkita nazariy savol va bitta amaliy masaladan) tashkil topgan yozma ish shaklida o'tkaziladi.

**Mantiq:** Talabaning nazariy olgan bilimlарини mustahkamlash, mustaqil ishlashga qaratilgan.

**Siz ushbu me'zon yordamida baholanasiz:**

Nazariy savol bo'yicha mavzudagi tayanch tushuncha va iboralar mohiyati:

- to'liq ochilgan va xulosalangan – 5 baxo (9-10%).
- to'liq olib berilmagan – 4 baxo (7-8.9%).
- yoritilgan, ammo ayrim kamchiliklari bor bo'lsa – 3 baxo (5-6.9%).
- chala yoritilgan bo'lsa va notog'ri tushunchalar keltirilgan – 2 baxo (0-5.9%) bilan baholanadi.

Masalani quyidagicha baholanadi:

- to'liq yechilgan, bo'lim bo'yicha olgan nazariy bilimlarni masala echishda to'g'ri qo'llangan bo'lsa – 5 baxo (9-10%).
- to'liq yechilgan, formulalar keltirishda ayrim kamchiliklarga qilgan bo'lsa – 4 baxo (7-8.9%).
- to'liq yechilmagan, formulalar hato keltirilgan bo'lsa – 3 baxo (5-6.9%).
- formulalar noto'g'ri tanlangan va noto'g'ri yechilgan bo'lsa – 2 baxo (0-5.9%) bilan baholanadi.

**Jami yakuniy nazorat**

- 5 baxo (27-30%).
- 4 baxo (21-26.7%).
- 3 baxo (18-20.7%).
- 2 baxo (0-17.7%).

**4. V. Ta'lim texnologiyalari va metodlari:**

- jamoa bo'lib ishlash;
- amaliy (og'zaki fiklash, tezkor savol-javoblar);
- guruxdarda ishlash;
- taqdimotlarni qilish;
- mustaqil ishlash;
- jamoa bo'lib topshiriqlar ustida ishlash.

**5. VI. Kreditlarni olish uchun talablar:**

Talaba ushbu fan bo'yicha belgilangan miqdordagi kreditlarni (6 kredit) qo'lga kiritish uchun semestr davomida 180 soatlik o'qish yuklamasini bajarishi kerak bo'ladi. Shundan 90 soat auditoriya mashg'uloti (dars vaqt), 90 soat mustaqil ta'lim (uyda va kutubxonada mustaqil o'qish) soati hisoblanadi. 1 kredit uchun belgilangan 30 soatlik o'qish yuklamasi bu fanni o'rganish uchun sarflanadigan jami harakatlar jamlanmasi bo'lib, unga nafaqat dars vaqt, balki talabaning fanni o'rganish uchun uyda va kutubxonada sarflagan vaqt, imtihonlar vaqt, umuman olganda talaba ushbu fanni o'zlashtirish uchun sarflagan barcha tizimli harakatlari vaqtini qamrab oladi.

Agar talaba o'rganayotgan fanning o'zlashtirish ko'rsatgichi 60% (3.00 baho) dan past bo'lgan taqdirda, fan uchun ajratilgan kreditlar miqdorini to'plamaganligi sababli akademik qarzdor talaba hisoblanadi. Shuningdek, bir fanga ajratilgan auditoriya soatining 25 foizini va undan ortiq soatni sababsiz qoldirgan talaba ushbu fandan chetlashtirilib, yakuniy nazoratga kiritilmaydi hamda mazkur fan bo'yicha tegishli kreditlarni o'zlashtirmagan hisoblanadi. Yakuniy nazorat turiga kiritilmagan yoki kirmagan, shuningdek, ushbu nazorat turi bo'yicha qoniqarsiz baho olgan talaba akademik qarzdor hisoblanadi.

Akademik qarzdor talabalar ta'til vaqtida yoki keyingi semestrlar mobaynida tegishli fanlardan

o'zlashtirilmagan kreditlar miqdoriga mos ravishda bazaviy to'lov-kontrakt miqdoridan kelib chiqqan holda to'lovnini amalga oshirgandan so'ng o'zlashtirilmagan fanlarni o'z hisobidan qayta o'qish huquqiga ega bo'ladi. (Asos: O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 31-dekabrdagi 824-sonli "Oliy ta'lim muassasalarida ta'lim jarayonini tashkil etish bilan bog'liq tizimni takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risidagi" qarori)

Talabalar bilimlari quyidagi jadval asosida o'lchaniladi (Asos: *Oliy ta'lim muassasalarida talabalar bilimini nazorat qilish va baholash tizimi to'g'risidagi nizomga ILOVA*)

#### Baholashni 5 baholik shkaladan 100 ballik shkalaga o'tkazish JADVALI

5 baholik shkala	100 ballik shkala	5 baholik shkala	100 ballik shkala	5 baholik shkala	100 ballik shkala
5,00-4,96	100	4,30-4,26	86	3,60-3,56	72
4,95-4,91	99	4,25-4,21	85	3,55-3,51	71
4,90-4,86	98	4,20-4,16	84	3,50-3,46	70
4,85-4,81	97	4,15-4,11	83	3,45-3,41	69
4,80-4,76	96	4,10-4,06	82	3,40-3,36	68
4,75-4,71	95	4,05-4,01	81	3,35-3,31	67
4,70-4,66	94	4,00-3,96	80	3,30-3,26	66
4,65-4,61	93	3,95-3,91	79	3,25-3,21	65
4,60-4,56	92	3,90-3,81	78	3,20-3,16	64
4,55-4,51	91	3,85-3,81	77	3,15-3,11	63
4,50-4,46	90	3,80-3,71	76	3,10-3,06	62
4,45-4,41	89	3,75-3,71	75	3,05-3,01	61
4,40-4,36	88	3,70-3,66	74	3,00	60
4,35-4,31	87	3,65-3,61	73	3,0 dan kam	60 dan kam

Fanga ajratilgan kreditlar talabalarga har bir semestr bo'yicha nazorat turlaridan ijobjiy natijalarga erishilgan taqdirda taqdim etiladi.

Fan bo'yicha talabalar bilimini baholashda oraliq (ON) va yakuniy (YaN) nazorat turlari qo'llaniladi. Nazorat turlari bo'yicha baholash: 5 – "a'lo", 4 – "yaxshi", 3 – "qoniqarli", 2 – "qoniqarsiz" baho mezonlarida amalga oshiriladi.

Oraliq nazorat o'quv semestrida bir marta yozma ish shaklida o'tkaziladi.

Talabalar semestr davomida fanga ajratilgan amaliy (seminar) mashg'ulotlarda muntazam, har bir mavzu bo'yicha baholanib boriladi va o'rtachalanadi. Bunda talabaning amaliy (seminar) mashg'ulot hamda mustaqil ta'lim topshiriqlarini o'z vaqtida, to'laqonli bajarganligi, mashg'ulotlardagi faolligi inobatga olinadi.

SHuningdek, amaliy (seminar) mashg'ulot va mustaqil ta'lim topshiriqlari bo'yicha olgan baholari oraliq nazorat turi bo'yicha baholashda inobatga olinadi. Bunda har bir oraliq nazorat turi davrida olingen baholar o'rtachasi oraliq nazorat turidan olingen baho bilan qayta o'rtachalanadi.

O'tkazilgan oraliq nazoratlardan olingen baho oraliq nazorat natijasi sifatida qaydnomaga rasmiylashtiriladi.

Yakuniy nazorat turi semestr yakunida tasdiqlangan grafik bo'yicha yozma ish shaklida o'tkaziladi.

	<p>Oraliq (ON) va yakuniy (YaN) nazorat turlarida:</p> <p>Talaba mustaqil xulosa va qaror qabul qiladi, ijodiy fikrlay oladi, mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimini amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – <u><b>5 (a'lo) baho;</b></u></p> <p>Talaba mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimini amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – <u><b>4 (yaxshi) baho;</b></u></p> <p>Talaba olgan bilimini amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – <u><b>3 (goniqarli) baho;</b></u></p> <p>Talaba fan dasturini o'zlashtirmagan, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunmaydi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega emas, deb topilganda – <u><b>2 (goniqarsiz) baho</b></u> bilan baholanadi.</p>
6.	<p><b>Asosiy adabiyotlar:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Douglas C. Giancoli. Physic sprinciples with applications. 2014</li> <li>2. Tursunmetov K.A., Daliev X. S. Mexanika. T. Universitet - 2000.</li> <li>3. Aleshkevich V.A Kurs obshey fiziki. Алешкевич В.А. Курс общей физики. Mexanika – М.: Fizmatlit, 2016.</li> <li>3. Jearl Walker. Fundamentals of physics. 2007. CERN 1541 p. (514 p.)</li> <li>4. Sivuxin D.V Umumiy fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi . Toshkent-1984.</li> <li>5. Strelkov S.P. Mexanika-Toshkent, o'qituvchi, 1977.</li> <li>6. CHertov A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'zbekiston, 1988 y.</li> <li>7 Sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi.</li> <li>8. Matveyev A.N. Matveev A.H. Mexanika -M.: Vissaya shkola, 1981.</li> <li>9. Kikoin Mexanika</li> </ol> <p><b>Qo'shimcha adabiyotlar</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. O'zbekiston Respublikasi prezidentining 2017 yil 14 fevraldag'i 2017-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuve oyo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasi</li> <li>2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 17 iyundagi "2019-2023 yillarda Mirzo Uleg'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida teleb yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatini rivojlantirish chora taqbirlari to'g'risida" gi PQ-4358 sonli qarori.</li> <li>3. SH.M.Mirziyoyev "Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash – yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi" Toshkent-«O'zbekiston» - 2017.48 bet.</li> <li>4. SH.M.Mirziyoyev "Milliy tiklanishdan milliy tiklanishdan milliy yuklanish sari ". Toshkent - "Yoshlar nashriyot uyi"- 2019. 158 bet.</li> <li>5. Ahmadjonov O.I. Fizika kursi. Mexanika va molekulyar fizika. Toshkent, o'qituvchi, 1985.</li> <li>6.Xaykin S. E. Fizicheskiye osnovi mexaniki. M. "Nauka" 1971 g.</li> <li>7.Volbkenshteyn V.S. "Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami" T. 1969.</li> <li>8.Strelkov S.P. va boshqalar. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Mexanika. Toshkent, o'qituvchi, 1981.</li> </ol> <p><b>Axborot manbalari</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Animatsion rolik (<a href="http://www.upscale.utoronto.ca">http://www.upscale.utoronto.ca</a>. ba html,<a href="http://tical ua.es">http://tical ua.es</a>).</li> <li>2. Fizika "Physicon". .</li> <li>3. Fizikadan o'quv kinofilmlari.</li> <li>4. Ko'rgazmali rangli rasmlar (<a href="http://www.hord Wareanalysis com">http://www.hord Wareanalysis com</a>.).</li> <li>5. Phusics onlien".</li> <li>6. <a href="http://www.cultinfo./fulltext/l/008/077/561/htm">www.cultinfo./fulltext/l/008/077/561/htm</a></li> <li>7. <a href="http://www.en/edu.ru">www.en/edu.ru</a>. Portal</li> </ol>

7.	Mazkur fanning O'quv dasturi "Fizika" kafedrasining 2023 yil 28-avgustdaggi 1- sonli yig'ilishida muhokamadan o'tgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan. Mazkur fanning O'quv dasturi "Fizika" fakultetining 2023 yil 29-avgustdaggi 1- sonli Kengashida ko'rib chiqilgan va foydalanishga tavsiya etilgan. NamDU o'quv-uslubiy kengashining 2023 yil 30-avgustdaggi 1- sonli majlisida majlisida muhokama qilingan va tasdiqlangan. .
8	<b>Fan/modul uchun mas'ul:</b> A.B. Nabihev - Namangan davlat universiteti fizika kafedrasi dotsenti
9	<b>Taqrizchilar:</b> X.O.Qo'chqarov - Namangan davlat universiteti fizika kafedrasi dotsenti Sh. Inoyatov- Namangan davlat universiteti fizika o'qitish metodikasi kafedrasi mudiri.

**NamDU o'quv-uslubiy boshqarma boshlig'i**

**Fizika fakulteti dekani**

**Fizika kafedrasi mudiri**

**Tuzuvchi**

**X. Mirzaaxmedov**

**O.Ismanova**

**B.Abdulazizov**

**A.Nabihev**

**MOLEKULYAR FIZIKA FANINING  
TEST SAVOLLARI**  
**(1- kurslar uchun, 1,2-semestr)**

**№1 Fan bobি-1; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1**

Ideal gaz bosimini 2 marta orttirilsa va hajmini 2 marta kamaytirilsa ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

\* o'zgarmaydi

2 marta ortadi

4 marta kamayadi

2 marta kamayadi

**№2 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 2**

Hajmlari  $V_1 = 2l$  va  $V_2 = 8l$  bo'lgan va kranli nay yordamida bir-biri bilan tutashtirilgan ikki idish turli gazlar bilan mos ravishda  $p_1 = 15kPa$  va  $p_2 = 30kPa$  bosim ostida to'ldirilgan. Kran ochilgach temperatura o'zgarmasa, idishlarda qanday  $p(kPa)$  bosim qaror topadi?

\*27

19

21

24

**№3 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 3**

Massasi  $m=60g$  bo'lgan neon ( $\mu = 20 \frac{g}{mol}$ ) gazi izobarik ravishda  $\Delta T=5K$  ga

isitilganda qanday A ish (J) bajariladi?  $R = 8.31 \frac{J}{mol \cdot K}$

\*125

91

24

174

**№4 Fan bobি-2; Fan bo'limи-7; Qiyinlik darajasi – 1**

Suv havzasi tubidan havo pufakchasi ko'tarilmoqda. Pufakcha ko'tarila borgani sari unga ta'sir qiluvchi Arhimed kuchi qanday o'zgaradi?

\*kamayadi

O'zgarmaydi

Ortadi

javob suvning sho'r yoki chuchukligiga bog'liq

**№5 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 2**

Hajmi  $V = 1.38m^3$  bo'lgan yopiq idishda temperaturasi  $t = 127^{\circ}C$  va bosimi  $p=10kPa$  bo'lgan ideal gaz bor. Bu gazning molekulalari soni N nimaga teng?

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

\*  $2,5 \cdot 10^{24}$

$5 \cdot 10^{25}$

$6 \cdot 10^{24}$

$2 \cdot 10^{24}$

**№6 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 2**

Hajmlari  $V_1 = 12l$  va  $V_1 = 8l$  bo'lgan va kranli nay yordamida bir-biri bilan

tutashtirilgan ikki idish turli gazlar bilan mos ravishda  $p_1 = 15\text{kPa}$  va  $p_2 = 30\text{kPa}$  bosim ostida to'ldirilgan. Kran ochilgach temperatura o'zgarmasa, idishlarda qanday  $p(\text{kPa})$  bosim qaror topadi?

\*21

19

27

24

№7 Fan bobi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 3

Massasi  $m=40\text{g}$  bo'lgan geliy ( $\mu = 4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ) gazi izobarik ravishda  $\Delta T=5\text{K}$  ga isitilganda qanday A ish (J) bajariladi?  $R = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

\*415

124

224

225

№8 Fan bobi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 1

Agar ideal gaz tez siqilsa uning temperaturasi ortadi bu nima bilan bog'liq?

- 1) Bajarilgan mexanik ish gaz molekulalarining kinetik energiyasini ortishiga sarflanadi.
- 2) Molekulalarning to'qnashishi chastotasini ortishi ajralayotgan energiyasini ortishiga olib keladi.
- 3) Molekulalarning gravitatsion tortishish enrgiyasi kinetik energiyaga o'tadi, chunki molekulalar bir biriga yaqinlashadi.

\*1

1,2

1,3

3

№9 Fan bobi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 1

Normal sharoitda hajmi  $1\text{l}$  bo'lgan havo molekulalar sonini aniqlang.

$* 2.6 \cdot 10^{22}$

$6 \cdot 10^{23}$

$6 \cdot 10^{26}$

$2 \cdot 10^{20}$

№10 Fan bobi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 2

$2\text{mol}$  gaz  $500\text{K}$  temperaturada  $100\text{kPa}$  bosimga ega uning hajmi nimaga teng.

\*0.0831

8.31

831

16.62

№11 Fan bobi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 2

Bosimi  $1\text{MPa}$  bo'lgan ideal gaz izobarik ravishda  $1\text{l}$  dan  $10\text{l}$  hajmgacha kengaytirildi. Bu jarayonda bajarilgan ishni toping

$*9 \cdot 10^3$

$10^4$

$4.5 \cdot 10^3$

$10^3$

№12 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-8; Qiyinlik darajasi – 2

Jism suvgaga solinganda uning yarmi suvgaga botib turadi , agar u noma'lum suyuqlikga solinsa  $\frac{1}{4}$  qismi botib turadi. Shu suyuqliknin zichligini aniqlang  $\left( \frac{g}{sm^3} \right)$ .

$*2$

4

0.5

8

№13 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 1

Qanday jarayonda gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi?

\*izotermik

Izoxorik

Adiabatic

Izobarik

№14 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning izotermik kengayishida uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

\*O'zgarmaydi

Kamayadi

Ortadi

Ichki energiya ixtiyoriy bo'lishni mumkin.

№15 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Gazlarda izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni formulasini aniqlang.

\*  $Q = A$

$\Delta U = A$

$Q = \Delta U$

$Q = Lm$

№16 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz izotermik kengayganda,  $30J$  ish bajardi. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan ( $J$ )?

\*30

40

50

100

№17 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Siklda issiqlik mashinasi  $21kJ$  ish bajarib, sovutkichga  $29kJ$  issiqlik miqdorini

beradi. Mashinaning foydali ish koeffisientini aniqlang.

\* 30%

40%

42%

52%

№18 Fan bobi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Foydali ish koeffisienti  $\eta$  bo'lgan issiqlik mashinasini isitkichdan  $Q$  issiqlik miqdori olganda, qanday ish bajaradi?

\*  $\eta \cdot Q$

$(1 + \eta) \cdot Q$

$(1 - \eta) \cdot Q$

$$\frac{Q}{\eta}$$

№19 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 3

Isitkichning harorati  $477^{\circ}C$ , sovutkichniki  $27^{\circ}C$  bo'lgan issiqlik mashinasining maksimal FIKni hisoblang (%).

\*60

30

40

20

№20 Fan bobi-1; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 2

Gaz bosimi deb nimaga aytiladi?

\* Gazlarni tashkil etuvchi atom va molekulalarning idish devoriga beradigan bosimi

Gazni idishdan siqib siqaruvchi kuch

Jism issiqlik muvozanati holatini xarakterlovchi kattalik

Hajm ortishi bilan ortadigan kattalik.

№21 Fan bobi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz hajmining ortishi bir xil bo'lganda, qaysi jarayonda u ko'proq ish bajarshini aniqlang.

\*Izobarik

Izotermik

Adiabatik

Izoxorik

№22 Fan bobi-6; Fan bo'limi-1-3; Qiyinlik darajasi – 1

Biror  $T$  temperaturadagi  $1\text{mol}$  bir atomli gazning temperaturasini doimiy bosimda 2 marta oshirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo'ladi?

\*  $5RT$

$1.5RT$

$2RT$

$2.5RT$

№23 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi jarayonlarning qaysi birida bajarilgan ish nolga teng?

\*Izoxorik

Izotermik

Adiabatik

Izobarik

№24 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 3

4.4kg massali geliyni izoxorik ravishda  $400^{\circ}C$  ga qizdirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak ( $MJ$ )?

\*4

1.25

2.5

4.25

№25 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Termodinamikaning birinchi qonuni adiabatik jarayon uchun qanday ko'rinishda yoziladi? Javoblardan to'g'risini tanlang.

$$* \Delta U + A = 0$$

$$Q = \Delta U$$

$$Q = A$$

$$Q = \Delta U + A$$

№26 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 2

FIK 40% bo'lgan issiqlik mashinasini bitta siklda 34 kJ ish bajaradi. Mashina bir sikldasovutkichga qancha issiqlik miqdori berishini aniqlang ( $kJ$ )?

\*85

42

51

63

№27 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Agar issiqlik dvigateli isitkichdan olgan issiqlik miqdorining uchdan ikki qismini Sovutkichga bersa, dvigatelning FIK ni toping (%).

\*33

54

67

60

№28 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Karno sikllida ishlayotgan bug' turbinasiga temperaturasi  $480^{\circ}C$  bo'lgan bug' kirib undan  $30^{\circ}C$  temperaturada chiqsa, turbinaning FIKni aniqlang (%).

\*60

70

30

40

№29 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gaz 2 marta kengayib, temperaturasi  $27^{\circ}C$  bo'lib qolsa, gazning dastlabki temperaturasi qanday bo'lgan? Bunda bosim o'zgarmagan.

\*  $-123^{\circ}C$

$123^{\circ}C$

$-50^{\circ}C$

$50^{\circ}C$

№30 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gaz isiganda uning  $p$  bosimi o'zgarmay,  $V$  hajmi  $1,3$  martta ortsa, u qanday  $A$  ish bajaradi?

\*  $A = 0.3 pV$

$A = 3 pV$

$A = 0.7 pV$

$A = 1.3 pV$

№31 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmi  $1.38m^3$  bo'lган yopiq idishda temperaturasi  $t = 227^{\circ}C$  va bosimi  $p=10kPa$  bo'lган ideal gaz bor. Bu gazning molekulalari soni  $N$  nimaga teng?

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

\*  $2 \cdot 10^{24}$

$4.5 \cdot 10^{25}$

$4 \cdot 10^{24}$

$5 \cdot 10^{25}$

№32 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Agar idishga bir xil kontsentratsiyali geliy va vodorod qamalgan bo'lsa, geliy va vodorod gazlarining parsial bosimlari qanday nisbatda bo'ladi?

\* 1

2

4

0.5

№33 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gazning haroratini 4 marta kamaytirsak, molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

\* 4 marta kamayadi

2 marta kamayadi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№34 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 2

Idishda ideal gaz bor. Agar idishning bosimi va hajmi 2 marta orttirilsa, molekulalarning o'rtacha kvadratik tezliklari qanday o'zgaradi?

\* 2 marta ortadi

o'zgarmaydi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№35 Fan bobi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz  $P^3\sqrt{T} = \text{const}$  qonuniyat bo'yicha o'zgarmoqda. Agar gazning bosimi 2 marta kamaysa, uning hajmi qanday o'zgaradi?

\*16 marta ortadi

8 marta ortadi

16 marta kamayadi

8 marta kamayadi

№36 Fan bobi-1; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 2

Umuman siljimaydigan porshen ostida  $3\text{mol}$  ideal gaz bor. Agar gazning ichki energiyasi  $600\text{J}$  ga ortsa, u qancha ish bajaradi?

\* $0J$

$1000J$

$400J$

$600J$

№37 Fan bobi-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 2

$2\text{kg}$  po'latning harorati  $t = 50^\circ\text{C}$  ga kamaysa, uning ichki energiyasi necha  $\text{J}$  ga kamayadi?  $c = 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

\*  $46kJ$

$460J$

$4600J$

$4.6kJ$

№38 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

$t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada  $5\text{m}^3$  havoda  $50\text{ g}$  suv bug'i bo'lsa, havoning nisbiy namligi qancha (%)?  $t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada to'yingan suv bug'inining zichligi

$17.3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$

\*  $58\%$

$60\%$

$70\%$

$59.7\%$

№39 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

$2\text{ kg}$  massali jismning tezligi  $10\text{ s}$  da  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  dan  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  gacha o'zgargan bo'lsa, unga ta'sir etgan kuchning miqdorini toping ( $N$ ).

\* $1.2$

$6$

$5$

$8$

№40 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

3 ta bir xil geometrik berk idishda bir hil miqdor va temperaturada azot, kislorod va vodorod bor. Qaysi gazning idish devorlariga ko'rsatadigan parsial bosimi eng

kichik?

\*barchasining bosimi bir hil

Kislород

Azot

Azot

41 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Universal gaz doimiysi  $R$  ning o'lchov birligini aniqlang.

$$* \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$mol^{-1}$$

$$\frac{J}{K}$$

$$\frac{J}{kg \cdot K}$$

№42 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi kattaliklardan qaysi biri o'zgartirilganda suyuqlikning kapillyar naydagi ko'tarilish balandligi o'zgarmaydi?

\*kapillyar nay materiali

erkin tushish tezlanishi

suyuqlik turiga

kapillyar nay ko'ndalang kesim yuzasi

№43 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz hajmining ortishi bir xil bo'lganda, qaysi jarayonda u ko'proq ish bajarishini aniqlang.

\*Izobarik

Izotermik

Adiabatik

Izoxorik

№44 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gazni ideal deb hisoblash uchun nimani hisobga olmaslik kerak?

\*Molekulalarni to'qnashish tasirlashishini

Molekulaning uzoqdan tasirlashishini

Molekulalarning massasini

Molekulalarning to'qnashishini

№45 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar  $E$  – gaz molekulalarining kinetik energiyasi,  $k$  – Boltsman doimiysi bo'lsa,

$X = \frac{2E}{3k}$  formula orqali qaysi kattalik hisoblanadi.

\*Gaz temperaturasi

Gaz bosimi

Gaz temperaturasi Molekulalarning o'rtacha tezligi

Ichki energiya

№46 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

27g suvdagi molekulalar sonini toping. (Suvning molyar massasi  $18 \frac{g}{mol}$ )

Avagadro soni  $6 \cdot 10^{23} mol^{-1}$

\* $9 \cdot 10^{23}$

$2 \cdot 10^{23}$

$3 \cdot 10^{23}$

$4 \cdot 10^{23}$

№47 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi 8,31l bo`lgan balondagi 0,01mol gazning  $t = 27^\circ C$  haroratdagi bosimini hisoblang.

\*3 kPa

2 kPa

20 kPa

30 kPa

№48 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Teng massali  $t = 90^\circ C$  haroratli issiq suv va  $t = 10^\circ C$  haroratli sovuq suv aralashtirildi. Aralashma haroratini toping.

\*  $50^\circ C$

$80^\circ C$

$60^\circ C$

$30^\circ C$

№49 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Atmosfera bosimini o`lchaydigan asbob qaysi?

\*barometr

Areometr

Spidometr

Termometr

№50 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izoxorik jarayonda qaysi kattalik o`zgarmaydi?

\*hajm

Bosim

Harorat

Zichlik

№51 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

$\overline{g}_x^2 = \frac{1}{3} \overline{g}^2$  ifoda quyida keltirilgan mulohazalarning qaysi biriga asoslanib yozilgan?

\*molekulalar o`zaro elastik to`qnashadi

molekulalar soni kam

molekulalar tartibsiz xarakat qiladi

molekulalar shar shaklida

№52 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosim o`zgarmaganida quyidagi qaysi temperaturadagi gaz  $t = 1^\circ C$  ga isitilganda uning hajmi 2 marta oshadi?

\*  $1^\circ C$

$0^\circ C$

$-272^\circ C$

$272^\circ C$

№53 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi  $P_1$  va hajmi  $V_1$  bo`lgan gazli idish bosimi  $P_2$  va hajmi  $V_2$  bo`lgan boshqa gazli idish bilan tutashtirildi. Gaz aralashmasining umumiy bosimi nimaga teng?

$$* P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$P = \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 + P_2}$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = \frac{(P_1 + P_2)V_1}{V_1 + V_2}$$

№54 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sirt yuzasi  $20m^2$  bo`lgan qurilmaning sirtiga  $1\mu m$  qalinlikda oltin qatlami qoplandi. Qoplamaada nechta oltin atomi bor? Avogadro doimiysi  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ , oltinning atom massasi  $1,97m.a.b.$ .

\*  $1.2 \cdot 10^{21}$

$1.5 \cdot 10^{21}$

$1.18 \cdot 10^{21}$

$1.13 \cdot 10^{21}$

№55 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bir xil hajmli ikki idishda harorat va massalari bir xil bo`lgan vodorod va kislород solingan. Gazlarning qaysi biri idish devoriga kattaroq bosim ko`rsatadi va necha marta ?

\*vodorod, 16 marta

kislород, 16 marta

vodorod, 8 marta

kislород, 8 marta

№56 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazni adiabatik tarzda siqib ish bajarildi. Bunda gazning kinetik va potensial energiyalari qanday o`zgaradi?

\*kinetik energiya ortadi, potensial energiya kamayadi

kinetik energiya kamayadi, potensial energiya o`zgarmaydi

kinetik energiya ortadi, potensial energiya o`zgarmaydi

kinetik energiya o`zgarmaydi, potensial energiya ortadi

№57 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izobarik qizdirilgan bir atomli gazning ichki energiyasi qanday o`zgaradi?

\*ortadi

Kamayadi

o`zgarmaydi

istalgancha o`zgarishi mumkin

№58 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bir atomli gaz molekulalarining konsentratsiyasi n bo`lsa, T haroratda V hajmni egallagan gazning ichki energiyasi qanday bo`ladi?

$$*\frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$\frac{3}{2} \frac{mV}{M} RT$$

$$\frac{3}{2} \frac{m}{V} RT$$

$$\frac{3}{2} nVkT$$

№59 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar haroratlari bir xil bo`lsa, moddaning qaysi holatida molekulalar eng katta kinetik energiyaga ega bo`ladi?

\*gaz

Suyuq

Qattiq

gaz va suyuq

№60 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molekulalar konsentratsiyasi va o`rtacha kvadratik tezliklari teng bo`lgan kislород va geliy gazlarining bosimlarini taqqoslang.

\*geliyniki 8 marta kam

kislородники 6 marta ko`p

geliyniki 2 marta kam

kislородники 4 marta ko`p

№61 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Havoda muallaq bo`lgan chang zarrachasining o`rtacha kvadratik tezligi havo molekulalarining o`rtacha kvadratik tezligidan necha marta kichik? Chang zarrachasining massasi  $4.8 \cdot 10^{-10} kg$ , havoning molyar massasi  $29 \frac{kg}{kmol}$ ,

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

$$*10^8$$

$$10^9$$

$$10^{10}$$

$$10^{12}$$

№62 Fan bobi-3; Fan bo`limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperaturaning fizikaviy ma`nosi qaysi javobda to`g`ri berilgan?

\*molekulalarning ilgarilanma harakat o`rtacha kinetik energiyasining o`lchovi modda ichki energiyasining o`lchovi

moddaning birlik massasiga to`g`ri keluvchi issiqlik haraatining o`lchovi  
moddaning bir moliga to`g`ri keluvchi issiqlik miqdorining o`lchovi

Nº63 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

To`yingan bug` bosimi bug` hajmiga bog`lanishi qanday?

\* hajmga bog`liq emas hajmga tog`ri proporsional

hajmga teskari proporsional

hajmga tog`ri proporsional

hajmnning kvadratiga proporsional

Nº64 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi tengliklarning qaysilari notog`sri?

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \bar{g}^2 \quad (1)$$

$$P = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot V} \quad (2)$$

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E} \quad (3)$$

$$P = \frac{R}{V} \nu \cdot T \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{3} \rho \bar{g}^3 \quad (5)$$

$$P = n \cdot k \cdot T \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{2} \frac{m}{N} n \bar{g}^2 \quad (7)$$

\*2, 4, 7

3, 5, 6

1, 5, 6

1, 6, 7

Nº65 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Suv molekulasi  $H_2O$  ning massasi necha kg? Vodorod va kislorod atomlari massalarini mos ravishda 1 va 16  $m.a.b.$  ga teng deb oling.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$

\*  $3 \cdot 10^{-26}$

$1.67 \cdot 10^{-27}$

$18 \cdot 10^{-20}$

$6 \cdot 10^{-26}$

Nº66 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi qaysi munosabat molekulyar- kinetik nazariyaning asosiy tenglamasidir?

$$1) P \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$$

$$2) P = n \cdot k \cdot T$$

$$3) P = \frac{1}{3} n m_o \bar{g}^2$$

4)  $E_K = \frac{3}{2} kT$

\*3

1

2

3

№67 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

$t = 27^\circ C$  da gazning hajmi  $6l$  bo`lgan,  $t = 77^\circ C$  da shu gazning hajmi qanday bo`ladi?

\*7 l

8 l

9 l

10 l

№68 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari qaysi javobda nisbatan to`liq bayon qilingan?

\*har qanday jism molekulalardan tuzilgan, ular betartib harakatda bo`ladi, ular orasida o`zaro ta`sir kuchlari mavjud.

modda mayda zarralardan tashkil topgan va ular orasida o`zaro ta`sir etuvchi kuchlar mavjud.

modda mayda bo`laklardan tuziladi va ular fazoni uzluksiz to`ldiradi

modda elementar zarralardan yuziladi va ular bir-biriga tinimsiz aylanib turadi.

№69 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ta`rifni to`g`ri mazmunda to`ldiruvchi javobni aniqlang. Issiqlik sig`imi deb, .... isitish uchun zarur bo`lgan issiqlik miqdoriga aytildi.

\*berilgan massali jismni  $1K$  ga

jism massa birligini  $1K$  ga

berilgan massali jism eriguncha

berilgan massali jismni  $t_1$  dan  $t_2$  gradusgacha

№70 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Solishtirma issiqlik sig`imining ifodasini ko`rsating.

$$* \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

$$\frac{Q}{(t_2 - t_1)}$$

$$\frac{Q}{m}$$

$$\frac{Q}{mt_1}$$

№71 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning hajmi  $V_1$  dan  $V_2$  ga teng bo`lgunicha izotermIk ravishda siqiladi.

Bunda bosim  $\delta p$  miqdorda ortadi. Boshlang`ich  $P_1$  bosim nimaga teng?

$$* P_1 = \frac{V_2}{V_1 - V_2} \delta p$$

$$P_1 = \frac{V_1 + V_2}{V_2 - V_1} \delta p$$

$$P_1 = \frac{V_1}{V_2} \delta p$$

$$P_1 = \frac{V_1}{V_1 - V_2} \delta p$$

№72 Fan bobi-4; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 4

Ta`rifni davom ettiring. Havodagi suv bug`ining parsial bosimi ... ,

\*Boshqa gazlar bo`lmaqanda suv bug`i hosil qilishi mumkin bo`lgan bosim

Suv bug`i to`yinganda hosil bo`ladigan bosim

Suv bug`ining kritik temperaturasidagi bosimi

Havoning barometr ko`rsatadigan bosimi

№73 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gazli suv hosil qilish uchun suv ichidan siqilgan is gazi o`tkaziladi. Bunda suvning harorati qanday va nima sababli o`zgaradi?

\*Suvning harorati pasayadi, chunki kengayishi jarayoni adiabatdir

Suvning harorati o`zgarmaydi, chunki jarayon izotermikdir

Suvning harorati pasayadi, chunki kengayish jarayoni izobardir

Gaz hajmi kengayganligi uchun suvning harorati ortadi

№74 Fan bobi-2; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 3

Harorati  $19^{\circ}\text{C}$  da suv bug`ining parsial bosimi 1.1 kPa edi. Havoning nisbiy namligini toping.  $19^{\circ}\text{C}$  da to`yintiruvchi bug` bosimi 2.2 kPa.

\*50%

40%

60%

70%

№75 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 2

1 kg suv, bug`, muzdan qaysi birining ichki energiyasi katta?

\*bug`

Suv

Muz

suv va bug`

№76 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Solishtirma qotish issiqligining birligi qaysi?

\*  $\frac{J}{kg}$

gradus (K)

$\frac{j}{kg \cdot K}$
$\frac{J}{kg}$

№77 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajm birligiga to'g'ri keluvchi molekulalar soni kontsentratsiya birligini toping

\*  $m^{-3}$

$m^{-2}$

$m^2$

$m^3$

№78 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Germetik berk idishdagi gaz bosimi 4 marta oshirish uchun uning haroratini necha marta oshirish kerak

\*4 marta

2 marta

3marta

1 marta

№79 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Idishdagi gaz harorati bosimga qanday bog'langan

\*to'g'ri

Kvadrat

Teskari

noma'lum

№80Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izobarik jarayonda harorat ortsa hajm qanday o'zgaradi?

\*ortadi

o'zgarmaydi

o'zgaradi

Mavhum

№81Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Qanday jarayon izobarik jarayon deb aytildi?

\* bosim o'zgarmaydigan jarayon

hajm o'zgarmaydigan jarayon

massa o'zgarmaydigan jarayon

harorat o'zgarmaydigan jarayon

№82 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Arximed kuchini xarakterlovchi formulani ko'rsating

\*  $F = \rho_c g V$

$p = fpt$

$W = vRT$

$K = ikt$

№83 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

uv5 kg massali suvda cho'kmaydigan jism s ga tashlansa qanday miqdordagi Arximed kuchi tasir qiladi?

\*20

30

40

50

№84 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Uchta bir xil diametrli probirkaga bir xil massali simob, suv va kerosin quyildi. Qaysi birining ustuni probirkada balandroq ko'rindi?

\*kerosin

Suv

xammasi bir xil

Simob

№85 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

$Q = \Delta U + A$  ushbu qonun qanday nomlangan?

\*termodinamikaning birinchi qonuni

ishqalanish kuchi qonuni

tokning bajargan ishi

masofani uzaytirish

№86 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izotermik jarayonda qaysi parametr o'zgarmay qoladi?

\*harorat

Bosim

Hajm

energiya

№87 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gaz doimiysining qiymati nechaga teng?

\*8.31

6.28

6.39

1.38

№88 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izoxorik jarayonda qaysi parametr o'zgarmay qoladi?

\*Hajm

Energiya

Harorat

Bosim

№89 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izobarik jarayonda 2 atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi ichki energiyaga aylanadi?

\*  $\frac{5}{7}$

$\frac{3}{4}$

$\frac{4}{7}$

$\frac{3}{5}$

№90 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izobarik jarayonda bir atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi (% larda) gazning ish bajarishiga sarf bo'ladi?

\* 40%

50%

30%

25%

№91 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

2 atomli gazni izobarik ravishda kengaytirishda 2,8 kJ issiqlik sarflangan bo'lsa, bunda gaz necha Joul ish bajargan?

\*800

1700

1200

1000

№92 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz bosimi 6 atm, hajmi 7l, temperaturasi 400K bo'lgan holatdan bosimi 3 atm, hajmi 14l bo'lgan holatga o'tganda uning temperaturasi necha gradusga teng bo'lib qoladi?

\*127°C

227°C

173°C

153°C

№93 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning ichki energiyasi qaysi parametrga bog'langan?

\*faqat Tga

uning uchchala parametri -T, R va V ga

faqat T va V ga

faqat R ga

№94 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz molekulalari tezligi 1) o'zaro to'qnashuvlarda; 2) idish devori bilan to'qnashganda; 3)o'z-o'zidan uzliksiz ravishda; 4) temperatura o'zgarganda o'zgaradi.

\*1,4

1,2

2,4

1,3

№95 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz molekulalarining eng katta ehtimolli tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $R_1$ , o'rtacha arifmetik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $R_2$  va o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $R_3$  orasida qanday munosabat o'rini?

\*  $R_1 > R_2 > R_3$

$R_3 > R_2 > R_1$

$R_3 > R_2 = R_1$

$R_3 > R_1 > R_2$

№96 Fan bobbi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Yopiq idishda  $0^{\circ}\text{C}$  da bosimi 10 Pa ga teng bo'lgan gazning 373 K temperaturadagi bosimi nimaga teng?

\*14 Pa

273 Pa

2730 Pa

20 Pa

№97 Fan bobbi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 200 kPa, hajmi 31 bo'lgan gazning bosimi o'zgarmas hajmda ikki marta oshirilgach uning hajmi bosimi o'zgarmagan holda ikki marta oshirildi. Bunda gaz qancha (kJ) ish bajargan?

1.2

1.7

3.4

6.6

№98 Fan bobbi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 100 kPa, hajmi 4l bo'lgan gazning temperaturasi avval 100 K ga oshirildi. So'ngra gaz bosimi 200 kPa, hajmi 3 l bo'lgan holatga o'tkazildi. Agar gaz bir atomli bo'lsa, uning ichki energiyasi qanchaga o'zgargan (kJ)?

\*0.3

0.4

0.6

0.8

№99 Fan bobbi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Birday temperaturada suyuqlik va uning bug'i solishtirma issiqlik sig'imi haqida nima deyish mumkin

\*bug'niki kattaroq

suyuqlikniki kattaroq

ikkala holatda bir xil

suyuqlik turiga bog'liq

№100 Fan bobbi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperatura ortganda suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsienti

kam\*ayadi

Ortadi

avval ortib, keyin kamayadi

avval kamayib, keyin ortib boradi

№101 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperatura ortib borishi bilan suyuqlik va gazlarning qovushoqligi

\*gazlarniki ortib, suyuqliklarniki kamayib boradi

gazlarniki kamayib, suyuqliklarniki ortib boradi

ortib boradi

gazlarniki o'zgarmay, suyuqliklarniki kamayib boradi

№102 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperatura ortib borishi bilan solishtirma bug'lanish issiqligi

\*kamayib boradi

ortib boradi

o'zgarmaydi

avval ortib, keyin kamayib boradi

№103 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar bir atomli gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi  $3 \cdot 10^{-19} J$  ga, kontsentratsiyasi  $2 \cdot 10^{24} m^{-3}$  bo'lsa, uning bosimi necha kPa?

\*400

300

200

250

№104 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Zichligi  $0.6 kg / m^3$ , molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi  $800 m/s$  bo'lsa, uning bosimi necha kPa ga teng?

\*128

228

229

765

№105 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi  $3300 kPa$  va zichligi  $1,1 kg/m^3$  bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi necha m/s ga teng?

1370

342

5678

2340

№106 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi  $138 sm^3$  bo'lgan idishdagi gaz bosimi  $300 K$  haroratda  $3 \cdot 10^5 Pa$  bo'lsa, idishdagi molekulalar soni nechta?

\* $10^{22}$

$2 \cdot 10^{22}$

$10^{20}$

34

№107 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi uning: 1) tezligining o'rtacha qiymatiga; 2) tezligining kvadrati o'rtacha qiymatiga; 3) absolyut temperaturaga; 4) Selsiy shkalasi bo'yicha o'lchanadigan temperaturaga proporsional.

\*2,3

4.6

2.9

6.9

№108 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Massalari 1/2 nisbatda bo'lgan ikki gaz aralashmasining o'rtacha molyar massasi  $\mu$  nimaga teng?

$$\frac{3\mu_1\mu_2}{2\mu_1 + \mu_2}$$

$$\frac{2\mu_1\mu_2}{\mu_1 + 2\mu_2}$$

$$\frac{1}{2}\mu_1\mu_2$$

$$\frac{2\mu_1\mu_2}{\mu_1 + \mu_2}$$

№109 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Massasi 148g bo'lgan dietil efirda ( $S_2N_5OS_2N_5$ ) nechta atom bor?

\*  $3.1 \cdot 10^{23}$

$2 \cdot 10^{23}$

$1.2 \cdot 10^{24}$

$2.2 \cdot 10^{24}$

№110 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Atom va molekulalarning o'lchamlari

\*  $10^{-8} cm$

$10^{-10} cm$

$10^{-11} m$

$10^{-2} mkm$

№111 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sinashlarda biror voqeaning ro'y berish ehtimolligi 1/2 ga tengligi ma'lum bo'ldi. Sinashlar soni 4 ga teng bo'lganda, shu voqeaning 2 marta ro'y berish ehtimolligi qiymati nimaga teng bo'ladi?

\*6/8

5/6

8/9

2/7

№112 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Mutlaq harorat noli:

molekulyar harakatlar to'xtaydigan harorat

o'tkazgich elektr qarshiligi nolga teng harorat

muzning erish temperaturasi

simob qotadigan temperature

№113 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 200 Pa va hajmi 30 l bo'lgan ikki atomli gazning ichki energiyasi qiymati nimaga teng?

\*15 J

34

56

76

№114 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

10 mol ideal gazning temperaturasi o'zgarmas bosimda  $10^{\circ}C$  ga oshirilsa, gaz qancha ish bajaradi?

\*831J

432

675

876

№115 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Izobarik jarayonda bir atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi (% larda) gazning ichki energiyasini oshirishga sarf bo'ladi?

\*60

56

23

87

№116 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 30 kPa bo'lgan gazning zichligi  $1kg / m^3$  bo'lsa, gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi necha m/s bo'ladi?

\*300

400

260

340

№ 117Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Uzunligi 30 sm bo'lgan sterjen temperaturasi 70 K ga oshirilganda 0,42 mm ga uzaygan bo'lsa, uning chiziqli kengayish koeffitsienti qiymati nimaga teng ( $\frac{1}{K}$  da)?

?

\*  $2 \cdot 10^{-5}$

$2.5 \cdot 10^{-5}$

$2.9 \cdot 10^5$

6.7

№118 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperaturasi  $0^{\circ}C$  bo'lgan 4,2 kg muzni butunlay eritish uchun necha kg  $50^{\circ}C$  temperaturali issiq suv kerak bo'ladi? Muzning solishtirma erish issiqligi  $330 \frac{kJ}{kg}$ ,

svuning solishtirma issiqlik sig'imi  $4,2 \frac{kJ}{kg}$  ga teng.

\*6,60

6.76

7.89

5.56

№119 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Kristallarning qotish temperaturasi:

\*erish temperaturasiga teng

erish temperaturasidan kata

erish temperaturasidan kichik

erish temperurasasi bilan qonuniy bog'lanmagan

№120 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

To'g'ri javobni toping:

\*kristallarning barchasida nuqsonlar mavjud

monokristallarda nuqsonlar bo'lmaydi

Nuqsonlar faqat nuqtaviy xarakterga ega

nuqsonlar faqat chizig'iy xarakterga ega

№121 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molyar massa deb nimaga aytiladi?

\*  $6 \cdot 10^{23}$  ta zarrachadan (atom, molekula) tashkil topgan modda massasiga

berilgan modda atomi massasining uglerod atomi massasining  $1/12$  qismi nisbatiga

273 K da 1 l hajmdagi modda massasiga

molekulalarning grammalarda ifodalangan massasiga

№122 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz ideal bo'lishi uchun nimalarni hisobga olmaslik kerak?

\*molekulalarning masofadan ta'sirlashishini

molekulalarning to'qnashgandagi o'zaro tahsirini

molekulalar harakatini

molekulalarning to'qnashuvini

№123 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Issiqlik muvozanatida bo'lgan ikkita turli gazning holat parametrlaridan qaysilari bir xil?

\*harorati

Bosim

Hajm

quvvat

№124 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Temperatura (harorat) ning molekulayr-kinetik ma'nosi nima?

molekulalar o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi

modda agregat holatini belgilovchi parameter

molekulalar to'qnashuvlari intensivligi o'lchovi

molekulalar potentsial energiyasi o'lchovi

125 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi 2 marta kamayib, temperaturasi 2 marta ortsа, gazning bosimi qanday o'zgaradi?

\*o'zgarmaydi

Ortади

Kamayadi

2 marta ortади

№126 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning harorati to'rt marta, hajmi ikki marta orttirilsа, uning bosimi qanday o'zgaradi?

\*ikki marta ortади

4 мarta отради

3 мarta ortади

O'zgarmaydi

№127 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi  $0.8m^3$  bo'lgan gazning 300 K temperaturadagi bosimi 280 kPa. Shu gazning 160kPa bosim va  $1.4m^3$  hajmdagi temperaturasini aniqlang.

300

450

234

745

№128 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Atmosferadagi qaysi gaz molekulalari tezroq harakat qiladi?

\*vodorod

Kislorod

Uglerod

geliy

№129 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar gaz temperaturasi 300 K ga oshirilganda, bosim va hajm ikki martadan ortgan bo'lsa, gazning oxirgi temperaturasi necha Kelvin?

\*400

500

235

765

№130 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Issiqlik muvozanatida bo'lgan ikkita turli gazning holat parametrlaridan qaysilari bir xil?

\*harorati

Bosim

Hajm

TEZLIK

№131 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 200 Pa va hajmi 30 l bo'lgan ikki atomli gazning ichki energiyasi qiymati

nimaga teng?

\*15 J

34

19

29

№132 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi 8,311 bo'lган 1mol gazning  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturadagi bosimi necha Pa?

\*  $3 \cdot 10^5$

$2 \cdot 10^5$

$3 \cdot 10^4$

$4 \cdot 10^5$

№133 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ballondagi  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturadagi gaz 40 atm bosim hosil qiladi. Agar gazning yarmi chiqarib yuborilgandan so'ng, temperatura  $12^{\circ}\text{C}$  bo'lib qolgan bo'lsa, ballondagi bosim necha atm. bo'ladi?

\*19.6

34.4

12.8

87.4

№134 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ballondagi gaz chiqishi natijasida gazning massasi 1,5 marta, tempetarurasi 1,4 marta kamaysa, bosim necha marta kamayadi?

\*2,1

1.6

2.9

4,8

№135 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz 10 kPa bosimda 100 l hajmni egallaydi. Temperatura o'zgarmaganda shu gazning 500kPa bosimda necha litr hajmni egallaydi?

2

3

4

6

№136 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

O'zgarmas temperaturada gazning bosimi 1atm. dan 400 mm.sim.ust. gacha o'zgarsa, gazning hajmi necha marta o'zgaradi?

\*1,9

5,8

4,9

2.7

№137 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Idishdagi gazning temperaturasi  $10^{\circ}\text{C}$ . Uning temperurasini izobarik ravishda necha gradusga olib chiqqanimizda hajmi ikki marta oshadi?

\*293

234

123

675

876

№138 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sirt taranglik koeffitsientining birligini ko'rsating

$$* \frac{J}{m^2}$$

J\*K

K

Wt

№139 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^\circ C$  dan  $57^\circ C$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

\*10

23

56

29

76

№140 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Maksvell taqsimoti qanday sharoitlarda o'rini bo'ladi?

\*Termodynamik muvozanat qaror topganda

Har qanfay sharoitda

Ozgarmas hajmda

Ozgarmas temperaturada

№141 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Nima uchun  $C_p$  - issiqlik sig'imi  $C_v$  - issiqlik sig'imidani katta?

\* $P=const$  bo'lganda gaz ko'proq va gaz kengayib ish bajaradi

$V=const$  bolganda koproq kengayadi

$V=const$  bo'lganda gaz ish bajarmaydi

bu ikki holda gaz molekulalarining erkinlik darajalari soni turlich

№142 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^\circ C$  dan  $57^\circ C$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

$$* \frac{m^2}{c}$$

$Pa * S$

$Wt * S$

$$\frac{N}{m * s}$$

№143 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sistemaning o'z-o'zidan muvozanat holatiga o'tishida uning entropiyasi va

holatining termodinamik ehtimolligi qanday o'zgaradi?

\*ikkalasi ham ortadi

Kamayadi

Ozgarmaydi

Chiziqli otradi

№144 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Absolyut nolga yaqinlashganda sistema entropiyasi . . . . .

\*nolga intiladi

Ortadi

Kamayadi

Chiziqli otradi

№145 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molyar issiqlik sig'imining birligini ko'rsating.

$$*\frac{J}{mol \cdot K}$$

J

K

J/K

146 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sistema holatining statistik vazni nima?

\*barcha mikroholatlar soni

barcha makroholatlar soni

ayni bir makroholatni yuzaga keltiruvchi mikroholatlar soni

ayni bir mikroholatni yuzaga keltiruvchi makroholatlar soni

№147 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining birligini ko'rsating.

$$*\frac{Wt}{m \cdot K}$$

J/K

K

Mol

№148 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $3 \cdot 10^{-6} m$ ; o'rtacha arifmetik tezligi esa  $500 \frac{m}{s}$  bo'lsa, gazning diffuziya koeffitsienti qiymati necha

$$\frac{m^2}{s} \text{ bo'ladi?}$$

$$*15 \cdot 10^{-4}$$

$$1.5 \cdot 10^{-4}$$

$$0.6 \cdot 10^{-4}$$

$$6 \cdot 10^{-4}$$

№148 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

6 g vodorodning hajmi ikki marta izotermik oshgandagi entropiyasi o'zgarishi

necha J/K ga teng bo'ladi?

\*17,3

34,9

45,8

12,7

№149 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $3 \cdot 10^{-6} m$ ; o'rtacha arifmetik tezligi esa  $500 \frac{m}{s}$  bo'lsa, gazning diffuziya koeffitsienti qiymati necha

$\frac{m^2}{s}$  bo'ladi?

\* $15 \cdot 10^{-4}$

$1.5 \cdot 10^{-4}$

$0.6 \cdot 10^{-4}$

$6 \cdot 10^{-4}$

№150 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Massasi 2,73 kg, temperaturasi  $0^\circ C$  bo'lgan muz eriganda entropiyasi necha  $\frac{J}{K}$  ga ortadi ( $\lambda = 330 \frac{kJ}{kg}$ ) ?

\*3300

5600

1200

3400

№151 Fan bobি-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Agar gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $3 \cdot 10^{-6} m$ ; o'rtacha arifmetik tezligi esa 500 m/s bo'lsa, gazning diffuziya koeffitsienti qiymati necha bo'ladi?

$6 \cdot 10^{-4}$ ;

$15 \cdot 10^{-4}$ ;

$1.5 \cdot 10^{-4}$ ;

$0.6 \cdot 10^{-4}$ ;

№152 Fan bobি-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-1;

Agar gaz temperaturasi 300 K ga oshirilganda, bosim va hajm ikki martadan ortgan bo'lsa, gazning oxirgi temperaturasi necha Kelvin?

400;

350;

550;

900;

№153 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Agar ideal gazning o'rtacha kvadratik tezligi o'zgarmagan holda kontsentratsiyasini 4 marta oshirsak, uning bosimi qanday o'zgaradi?

4 marta ortadi,

2 marta ortadi,

o'zgarmaydi,

2 marta kamayadi,

№154 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi-2;

Agar idishga bir xil kontsentratsiyali geliy va vodorod qamalgan bo'lsa, geliy va vodorod gazlarining portsial bosimlari qanday nisbatda bo'ladi?

1

2

4

$\frac{1}{2}$

№155 Fan bobি-1; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi-2;

Azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s zichligi  $1,35 \text{ kg/m}^3 \text{ bo'lsa}$ , uning bosimi nimaga teng:

0,11 MPa

0,18 MPa

1,1 MPa

11 MPa

№156 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Asos yuzasi  $270 \text{ cm}^2$  va qalinligi  $4,5 \text{ mkm}$  bo'lgan alyuminiy qatlamida qancha miqdor modda bor? Alyuminiyning zichligi  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , molyar massasi esa  $27 \text{ g/mol}$ ga teng.

$1.2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$5.4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$8.1 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$2.4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

№157 Fan bobি-5; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Atmosferadagi qaysi gaz molekulalari tezroq harakat qiladi?

Vodorod, azot;

Kislород;

Vodorod;

Karbonat angidrid;

№158 Fan bobি-3; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-1;

Atom va molekulalarning o'lchamlari:

$10^{-8} \text{ sm}$ ;

$10^{-10}$  м;

$10^{-11}$  м;

$10^{-2}$  мкм;

№159 Fan bobি-5; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Fermi - Dirak taqsimotini ko'rsating.

$$\bar{n}_k = \frac{1}{e^{\frac{\mu-E_k}{T}} + 1}$$

$$\bar{n}_k = \frac{1}{e^{\frac{E_k-\mu}{T}} + 1}$$

$$\bar{n}_k = e^{\frac{\mu-E_k}{T}}$$

$$\bar{n}_k = e^{\frac{E_k-\mu}{T}}$$

№160 Fan bobি-4; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-1;

Balandligi 4 metr suv ustunchasining bosimi nimaga teng bo'ladi?

$39.2 \cdot 10^3$  Pa

980 Pa

3920 Pa

7849 Pa

№161 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ballondagi  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturadagi gaz 40 atm bosim hosil qiladi. Agar gazning yarmi chiqarib yuborilgandan so'ng, temperatura  $12^{\circ}\text{C}$  bo'lib qolgan bo'lsa, ballondagi bosim necha atm. Bo'ladi?

19;

20;

18;

17;

№162 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ballondagi gaz chiqishi natijasida gazning massasi 1,5 marta, tempetarurasi 1,4 marta kamaysa, bosim necha marta kamayadi?

2,1;

2,9;

1,5;

1,4;

№163 Fan bobি-4; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Ballondagi gazning yarmi chiqib ketishi natijasida uning bosimi 3 marta kamaygan

bo'lsa, gazning ichki energiyasi qanday o'zgargan?

3 marta kamaygan;

2 marta oshgan;

1,5 marta kamaygan;

1,5 marta oshgan;

№164 Fan bobি-5; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Bir atomli gazning o'zgarmas bosimdagи solishtirma issiqlik sig'imi qanday ifoda bilan xisoblanadi.

$$C_p = \frac{5R}{2\mu}$$

$$C_p = \frac{3R}{2\mu}$$

$$C_p = \frac{3}{2}R$$

$$C_p = \frac{5}{2}R$$

№165 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Birday temperaturada suyuqlik va uning bug'i solishtirma issiqlik sig'imi haqida nima deyish mumkin?

Bug'niki kattaroq;

Suyuqlikniki kattaroq;

Ikkala holatda bir xil;

Suyuqlik turiga bog'liq;

№166 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Bitta idishga qamalgan kislород va azotlarning bosimлари bir xil bo'lsa, kislород zichligining azot gazi zichligiga nisbati nimaga teng?

8/7;

6/5;

7/8;;

5/6;;

№167 Fan bobি-4; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi-2;

Boyl – Mariott qonuni moddaning qaysi holati uchun o'rинli:

Ideal gazlar uchun

Suyuqliklar uchun

Real gazlar uchun

Javoblar to'g'risi yo'q

№168 Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Boyl- Mariott qonuning matematik ifodasini aniqlang:

T=const bo'lsa,  $PV = \text{const}$  bo'ladi

T=const bo'lsa,  $\frac{P}{V} = \text{const}$  bo'ladi

V=const bo'lsa,  $\frac{P}{T} = \text{const}$  bo'ladi

P=const bo'lsa,  $\frac{V}{T} = \text{const}$  bo'ladi

№169 Fan bobি-4; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 0,3 MPa va zichligi  $4,5 \text{ kg/m}^3$  bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi qanday?

450 m/s ,

300 m/s ,

360 m/s ,

400 m/s ,

№170 Fan bobি-3; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 100 kPa, molekulalari kontsentratsiyasi  $10^{25} \text{ M}^{-3}$  bo'lganda gazning temperaturasini toping:

725 K

625 K

525 K

425 K

№171 Fan bobি-5; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 100 kPa, hajmi 4 l bo'lgan gazning temperaturasi avval 100 K ga oshirildi. So'ngra gaz bosimi 200 kPa, hajmi 3 l bo'lgan holatga o'tkazildi. Agar gaz bir atomli bo'lsa, uning ichki energiyasi qanchaga o'zgargan (kJ)?

0,3

0,4

0,6

0,8

№172 Fan bobি-5; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 200 kPa, hajmi 3 l bo'lgan gazning bosimi o'zgarmas hajmda ikki marta oshirilgach uning hajmi bosimi o'zgarmagan holda ikki marta oshirildi. Bunda gaz qancha (kJ) ish bajargan?

1,2

1200

0,6

600

№173 Fan bobি-5; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 200 Pa va hajmi 30 l bo'lgan ikki atomli gazning ichki energiyasi qiymati nimaga teng?

15 J

13 J

11 J

45 J

№174 Fan bobি-5; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 30 kPa bo'lgan gazning zichligi  $1 \text{ кг/м}^3$  bo'lsa, gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi necha m/s bo'ladi?

300

200

350

400

№175 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 3300 kPa va zichligi  $1,1 \text{ кг/м}^3$  bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi necha m/s ga teng?

1730

600

700

2000

№176 Fan bobি-7; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Broun zarrasi uchun Eynshteyn-Smolukovskiylar chiqargan o'rtacha kvadratik ko'chish masofasining vaqtga bog'liq ravishda o'zgarish ifodasining to'g'ri ko'rinishini aniqlang:

$$\Delta \bar{x^2} = \frac{kT}{3\pi\eta a} t$$

$$\Delta \bar{x^2} = \frac{3\pi\eta a}{kT} t$$

$$\Delta \bar{x^2} = \frac{kT}{3\pi\eta a t}$$

$$\Delta \bar{x^2} = \frac{kT}{3\pi} \eta a t$$

№177 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi:

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb qaynash temperaturasidagi 1 g moddani butunlay bug'ga aylantirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb 1 g moddani bug'lanirish uchun kerak

bo'lgan issiqlik miqdoriga aytildi

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb moddani butunlay bug'ga aylantirish uchun sarf bo'lgan issiqlik miqdoriga aytildi

Qaynayotgan moddaning 1 g butunlay bug'lantirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga bug' hosil bo'lishning yashirin issiqligi deyiladi

№178 Fan bobি-5; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Van-der-Vaalstenglamasi: Ushbu tenglamalarning qaysi biril mol real gaz uchun Van-der-Vaalstenglamasi ekanligini aniqlang:

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

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

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

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

№179 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz 10 kPa bosimda 100 l hajmni egallaydi. Temperatura o'zgarmaganda shu gazning 500 kPa bosimda necha litr hajmni egallaydi?

2;

5;

20;

50;

№180 Fan bobি-5; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz aralashmasi 2,5 gramm vodoroddan va 40 gr kisloroddan tashkil topgan bo'lsa, aralashmaning o'rtacha molyar massasi nimaga teng bo'ladi?

17 g/mol

9 g/mol

10 g/mol

13 g/mol

№181 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz bosimi 6 atm, hajmi 7 l, temperaturasi 400 K bo'lган holatdan bosimi 3 atm, hajmi 14 l bo'lган holatga o'tganda uning temperaturasi necha gradusga teng bo'lib qoladi?

123° C

223° C

173° C

153° C

№182 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz ideal bo'lishi uchun nimalarni hisobga olmaslik kerak?

Molekulalarning masofadan ta'sirlashishini;

Molekulalarning to'qnashgandagi o'zaro ta'sirini;

Molekulalar harakatini;

Molekulalarning to'qnashuvini;

№183 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalari tezligi 1) o'zaro to'qnashuvlarda; 2) idish devori bilan to'qnashganda; 3)o'z-o'zidan uzlusiz ravishda; 4)temperatura o'zgarganda o'zgaradi.

1,4

1,2

2,4

1,3

№184 Fan bobি-6; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi 2 marta kamayib, tem peraturasi 2 marta ortsа, gazning bosimi qanday o'zgaradi?

Ikki marta kamayadi;

O'zgarmaydi;

Ikki marta ortadi;

To'rt marta ortadi;

№185 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasi deb:

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(v, \bar{p}, T, m, \mu) = 0$$

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(\vartheta) = ndnd\vartheta$$

№186 Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkor ko'rinishini aniqlang:

$$f(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi KT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2KT}}$$

$$n = n_0 e^{-\frac{E_p}{KT}}$$

$$P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

$$f(x) = Ae^{-\alpha x^2}$$

№187 Fan bobi-6; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkorko'rinishini kim aniqlagan:

Maksvell

Goltsman

Faradey

Nyuton

№188 Fan bobi-2; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi uning 1) tezligining o'rtacha qiymatiga; 2) tezligining kvadrati o'rtacha qiymatiga; 3) absolyut temperaturaga; 4) TSelsiy shkalasi bo'yicha o'lchanadigan temperaturaga proportsional

2,3

1,2

3, 4

3

№189 Fan bobi-6; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining eng katta ehtimolli tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_1$ , o'rtacha arifmetik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_2$  va o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_3$  orasida qanday munosabat o'rinni?

$P_1 > P_2 > P_3$

$P_3 > P_2 = P_1$

$P_3 < P_2 > P_1$

$P_1 < P_2 < P_3$

№190 Fan bobi-6; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulyar harakatining kinematik xarakteristikalarini quyidagi ifodalarning qaysi biri to'la ifodalaydi:

Gaz molekulasining erkin yugurish masofasi, effektiv kesimi, o'rtacha to'qnashuvlar soni

Gaz molekulasining erkin yugurish masofasi va effektiv kesimi

Gaz molekulasining o'rtacha to'qnashuvlar soni

Gaz molekulasining effektiv kesimi

№191 Fan bobi-4; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz payvandlash ishlarini bajarishdan avval kislород balonnining monometri 10 Mpa bosimni, payvandlash ishlari tamom bo'lgach, 8 MPa bosimni ko'rsatgan

bo'lsa, ishlarni bajarishda qancha (foiz hisobida) kislorod ihlatilgan?

20

40

60

80

№192 Fan bobি-6; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $57^{\circ}\text{C}$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

10;

30;

21;

15;

№193 Fan bobি-3; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz universal doimiysi qanday birlikda o'lchanadi:

$$\frac{\mathcal{H}}{\text{моль} \cdot K}$$

$$\frac{\mathcal{H}}{\text{моль}} K$$

$$\frac{\mathcal{H}}{K}$$

$$\frac{\mathcal{H}}{K} \text{моль}$$

№194 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz hajmining doimiy bosimdagi termik koeffitsientini aniqlovchi formulani ko'rsating

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g}$$

№195 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gazlarni suyultirish:

Gazlarni suyultirish uchun avval ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish va undan keyin siqish lozim:

Real gazlarni suyultirish uchun gazlarni eng avval siqish va undan keyin kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni siqishning o'zi etarli

№196 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gazlarning izotermik siqiluvchanlik koeffitsienti deb, quyidagi ifodalarning qaysi biriga aytildi:

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$D = \frac{1}{3} \lambda \vartheta$$

№197 Fan bobি-5; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Dalton qonunining matematik ifodasini aniqlang:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_i$$

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$P = nKT$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m \vartheta^2}{2}$$

№198 Fan bobি-4; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Diametri 0,5 mm bo'lgan kapillyar nayda ko'tarilgan suv  $\left( \sigma = 73 \frac{MA}{M}, \rho = 10^3 \frac{\kappa \vartheta}{m^3} \right)$  ning massasini toping:

12 mg

24 mg

36 mg

48 mg

№199 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Diametri qanday bo'lgan kapillyar nayda suvning ko'tarilish balandligi 14,4 mm ga teng bo'ladi? Suvning sirt taranglik koeffitsienti 72 mN/m va og'irlilik kuchi tezlanishi  $10 \text{ m/c}^2$  deb olinsin.

2 mm

0,8 mm

1,0 mm

1,5 mm

№200 Fan bobি-5; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Diffuziya koeffitsienti  $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  ga, zichligi esa  $0.7 \text{ кг}/\text{м}^3$  ga teng bo'lganda gazning qovushoqlik koeffitsienti nimaga teng?

$2.1 \cdot 10^{-4}$ ;

$4.2 \cdot 10^{-4}$ ;

$2.3 \cdot 10^{-5}$ ;

$4 \cdot 10^{-4}$ ;

№201 Fan bobি-7; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Diffuziya koeffitsientining birligi quyidagilardan qaysi biri?

Па · с;

$\text{м}^2/\text{с}$ ;

Вт · с;

$\text{Н}/\text{м} \cdot \text{с}$ ;

№202 Fan bobি-7; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Diffuziya koeffitsientmi  $D = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  ga teng bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  bo'lsa, bu gaz molekulalari o'rtacha arifmetik tezligi necha m/s bo'ladi?

600;

200;

320;

450;

№203 Fan bobি-7; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Diffuziya statsionar bo'lganda.

To'g'ri javob E va V punktlarda ko'rsatilgan

Diffuziya gradienti o'zgarmasdan qoladi;

Diffuziya oqimi bir tekis kamayib boradi;

Diffuziya oqimi bir tekis ortib boradi;

№204 Fan bobি-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

YOpiq idishda  $0^\circ\text{S}$  da hajmi  $10 \text{ л}$  ga teng bo'lgan gazning  $273 \text{ K}$  temperaturadagi bosimi nimaga teng?

To'g'ri javob yo'q

25 Pa

273 Pa

2730 Pa

№205 Fan bobি-5; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Joul-Tomson effekti:

Joul-Tomson effekti faqat real gazlarda ro'y berib, ularning hajmlari o'zgarganda ichki energiyasining o'zgarishga olib keladi: Anna shu hodisagav Joul-Tomson effekti deyiladi:

Joul-Tomson effekti real gazlarda ro'y beradi: Ularning hajmlari o'zgarsa temperaturalari ham o'zgaradi:

Joul-Tomson effekti faqatgina ideal gazlarda ro'y beradi: Ideal gazlarning hajmini doimiy qoldirib bosimi o'zgartirilsa ham temperaturasi o'zgarmaydi: Ana shu hodisaga Joul-Tomson effekti deyiladi:

Joul-Tomson effekti suyuqliklarda ro'y beradi: Ularning hajmlariningo'zgarishi bilan ichki energiyasi ham o'zgaradi:

№206 Fan bobি-2; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Zichligi  $0,6 \text{ кг/м}^3$ , molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi  $800 \text{ м/с}$  bo'lsa, uning bosimi necha kPa ga teng?

192

228

360

48

№207 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gaz 2 marta kengayib, temperaturasi  $27^\circ\text{S}$  bo'lib qolsa, gazning dastlabki temperaturasi qanday bo'lgan? Bunda bosim o'zgarmagan.

$-123^\circ\text{S}$

$-73^\circ\text{S}$

$-50^\circ\text{S}$

$50^\circ$

№208 Fan bobি-3; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-1;

Ideal gaz bosimi izoxorik ortganda uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

Ortadi,

Kamayadi,

O'zgarmaydi,

Gaz tubiga qarab, ortishi ham, kamayishi ham mumkin

№209 Fan bobি-2; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gaz kengayganda bosimi ikki marta kamayib, xajmi 6 marta ortgan bulsa, gazning ichki energiyasi kanday uzbargan?

3 marta ortgan

3 marta pasaygan

18 marta ortgan

2 marta ortgan

№210 Fan bobি-4; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gaz molekulalarining o'rtacha kvaratik tezligi ifodasini ko'rsating:

$$g = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$$g = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

$$g = \sqrt{\frac{8RT}{\pi/4}}$$

$$g = \sqrt{\frac{2KT}{m_0}}$$

№211 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Ideal gaz molekulasining ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi qaysi ifoda bilan topiladi:

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

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

$$C = \frac{3K}{2M}$$

$$E = \frac{5}{2}kT$$

№212 Fan bobি-2; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning absolyut temperaturasi 2 marta ortganda, uning bosimi 25% ortdi:  
Bunda hajm necha marta o'zgaradi:

1,6 marta

2,6 marta

3,2 marta

4,8 marta

№213 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning absolyut xaroratini 4 marta kamaytirsak, uning o'rtacha kvadratik tezligi qanday o'zgaradi?

2 marta kamayadi,

4 marta kamayadi,

4 marta oshadi,

16 marta kamayadi,

№214 Fan bobি-3; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-1;

Ideal gazning bosimi va temperaturasi orasidagi munosabat uchun quyidagi

formulalarning qaysi biri o'rini:

$$R=nkT$$

$$P=\nu RT$$

$$P=mRT$$

$$P=\mu RT$$

**№215** Fan bobি-4; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-3;

Ideal gazning bosimi uning molekulalarining kinetik energiyasiga qanday bog'liq:

$$P = \frac{2}{3}n \frac{m\theta^2}{2}$$

$$P = \frac{3}{2}nE_K$$

$$P = nE_K$$

$$P = NE_K$$

**№216** Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-1;

Ideal gazning bosimini aniqlovchi formulani toping:

$$R=nkT$$

$$P=NKT$$

$$P=nRT$$

$$P=Ne$$

**№217** Fan bobি-3; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-1;

Ideal gazning doimiy bosimdagi molyar issiqlik sig'imi nimaga teng:

$$C_P = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R$$

$$C_P = \frac{\mu}{m} \frac{i+2}{2} R$$

$$C_P = \frac{m}{\mu} \frac{2}{i+2} R$$

$$C_P = \frac{\mu}{m} \frac{2}{i+2} R$$

**№218** Fan bobি-5; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning doimiy hajmdagi molyar issiqlik sig'imi nimaga teng:

$$C_V = \frac{im}{2\mu} R$$

$$C_V = \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R$$

$$C_V = \frac{2m}{i\mu} R$$

$$C_V = \frac{2}{i+2} \frac{m}{\mu} R$$

№219 Fan bobি-2; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-1;

Ideal gazning izobarik jarayondagi bajargan ishini aniqlang:

$$\delta A = PdV$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\delta A = VdP$$

№220 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning izotermik jarayonda bajargan ishini aniqlang:

$$\delta A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = \frac{RT}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \right]$$

$$\delta A = C_p dT$$

$$\delta A = PdV$$

№221 Fan bobি-2; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning izoxorik jarayonda bajarilgan ishini aniqlang:

$$A=0$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\delta A = C_p dT$$

№222 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning ichki energiyasi

Faqat T ga

T, R va V ga

Faqat T va V ga

Faqat R ga

№223 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning ichki erengiyasining o'zgarishi nimaga teng:

$$dU = \frac{m}{\mu} C_v dT$$

$$dU = \delta Q + \delta A$$

$$dU = CdT$$

$$dU = dE_K$$

№224 Fan bobি-2; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning xolat tenglamasi.

$$PV = NkT$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$p/T = \text{const}$$

$$PV/T = \text{const}$$

№225 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning hajmi 25% ga, temperaturasi 2,5 marta ortsa, bosimi necha marta ortadi?

2,0

1,83

1,66

1,33

№226 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning hajmi va harorati 2 marta oshgan bulsa, bosimi necha marta o'zgargan bo'ladi?

O'zgarmasdan qoladi,

4 marta kamayadi,

2 marta kamayadi,

2 marta ortadi,

№227 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning harorati to'rt marta, hajmi ikki marta orttirilsa, uning bosimi qanday o'zgaradi?

Ikki marta kamayadi;

To'rt marta kamayadi;

Ikki marta ortadi.

To'rt marta ortadi;

№228 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning haroratini 4 marta kamaytirsak, molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

4 marta kamayadi,

2 marta kamayadi

2 marta oshadi,

4 marta oshadi,

№229 Fan bobি-4; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning holat tenglamasi:

$$PV = NkT$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$PV/T = const$$

№230 Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning holat tenglamasini aniqlang:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$PV = \frac{\mu}{m} RT$$

$$PV = \frac{m}{\mu} \frac{R}{T}$$

$$PV = \frac{m}{\mu} \frac{T}{R}$$

№231 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal issiqlik mashinasini isitkichdan olgan issiqlik miqdorining 70% ni sovutkichga beradi, Isitgichdan har tsiklda 1800 J issiqlik miqdori olinsa, mashina har tsiklda qancha ish bajaradi?

540 J

300 J

440 J

200 J

№232 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal issiqlik mashinasining FIK 70 % ga teng. Agar mashina isitkichining temperaturasi 600 K ga teng bo'lsa, isitkich va sovutkich temperaturalarining farqi necha gradus bo'ladi?

420;

42;

36;

300;

№233 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Idishdagi gaz aralashmasi 160 gramm kisloroddan va 32 gramm geliydan tashkil topgan bo'lsa, aralashmada qancha modda miqdori bor?

13 mol

9 mol

7 mol

15 mol

№234 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Idishdagi gazning temperaturasi  $10^{\circ}\text{C}$ . Uning temperaturasini izobarik ravishda necha gradusga olib chiqqanimizda hajmi ikki marta oshadi?

293;

40;

283;

373;

№235 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Izobarik jarayonda 2 atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi ichki energiyaga aylanadi?

5/7

3/4

4/5

2/3

№236 Fan bobি-7; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-1;

Izobarik jarayonda bir atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi (foizlarda) gazning ish bajarishiga sarf bo'ladi?

40%

50%

30%

25%

№237 Fan bobি-7; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ikki atomli va bosimi 1 atm, bo'lган gaz o'zgarmas bosimda qizdirilganda uning hajmi 10 l ga ortgan bo'lsa, unga qancha issiqlik mikdori berilgan?

3,5 kJ

500 J

750 J

2,5 kJ

№238 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Ikki atomli ideal gaz 24 kPa bosimda 10 l hajmni egallagan bo'lsa, uning ichki energiyasi nimaga teng?

0,6 kJ

1 kJ

2,5 kJ

4 kJ

№239 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ikkita bir xil hajmli idishda, birida  $P_1$ , ikkinchisida  $P_2$  bosimli gaz bor. Ular o'zaro ingichka nay bilan tutashtirilsa, idishdagi bosim nimaga teng bo'lib qoladi?

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$P = \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 + P_2}$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{P_1 \cdot P_2}$$

№240 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi isitkich temperaturasi 227 S,sovutkich temperaturasi 27 S bo'lib, mashina har tsiklda isitkichdan 6000 J issiqlik miqdori olsa, har tsiklda sovutkichga qancha issiqlik miqdori beradi?

3600J

2400 J

1000 J

3700 J

№241 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi isitkichdan olgan issiqlik miqdorining 60% ni sovutgichga beradi. Isitgichdan olingan 4000 J issiqlik hisobiga mashina necha J ga teng ish bajaradi?

1600;

3600;

240;

2000;

№242 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi Kärno tsikli bo'yicha ishlaydi. Agar mashina bir tsiklda 3000 J ish bajarib, sovutgichga 2000 J issiqlik uzatgan bo'lsa, uning FIK necha foizga teng?

60;

40;

50;

15;

№243 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi olgan issiqlik miqdorining 70 % ni sovutkichga beradi. Agar isitkich temperaturasi 600 K ga teng bo'lsa. Isitkich va sovutkich temperaturalarining farqi necha K ga teng bo'ladi?

180;

200;

420;

150;

№244 Fan bobি-4; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik muvozanatida bo'lган иккита түрли газнинг хотар параметрларидан оасилари бир хил?

Харорати;

Босими ва хажми;

Босими ва харорати;

Босими;

№245 Fan bobি-8; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Иssiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining birligini ko'rsating.

Ж/м·с·К;

Бт/м<sup>2</sup>·К;

Ж/м<sup>2</sup>·с;

Бт/м<sup>2</sup>·с;

№246 Fan bobি-5; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-3;

Kelvin shkalasidagi 120 K TSelsiy shkalasidagi qanday haroratga to'g'ri keladi:

-153,15<sup>0</sup>C

-173,15<sup>0</sup>C

173,15<sup>0</sup>C

273,15<sup>0</sup>C

№247 Fan bobি-4; Fan bo'limи-13; Qiyinlik darajasi-2;

Klapeyron-Klaузиус тенгламиши: Ушбу тенгламаларнинг оаси бирни Klapeyron-Klaузиус тенгламасини ifodalaydi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{T}{L(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{(V_2 - V_1)}{LT}$$

$$\frac{dT}{dP} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

№248 Fan bobি-3; Fan bo'limи-10; Qiyinlik darajasi-1;

Kristallarning qotish temperaturasi:

Erish temperaturasiga teng;

Erish temperaturasidan katta;

Erish temperurasidan kichik;

Erish temperurasasi bilan qonuniy bog'lanmagan;

№249 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Qaynash temperaturasida ( $100^{\circ}\text{S}$  da) massasi 373 gramm bo'lган suv bug'langanda uning entropiyasinecha J/K ga ortadi?

2300;

810;

4600;

700;

№250 Fan bobি-3; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-1;

Qanday jarayonda gazga uzatiladigan issiqlik miqdorining hammasi ideal gaz ichki energiyasining o'zgarishaga sarf bo'ladi?

Izoxorik,

Izotermik,

Izobarik,

Adiobatik,

№251 Fan bobি-2; Fan bo'limи3; Qiyinlik darajasi-3;

Qanday temperaturada azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 830 m/s bo'ladi ( $\mu = 28 \frac{\kappa\ell}{\kappa \cdot \text{моль}}$ ):

774 K

674 K

574 K

474 K

№252 Fan bobি-1; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-3;

Qattiq jismlarning issiqlik sig'implari: Ushbu formulalarning qaysi biri qattiq jismlar uchun Dyulong-Pti qonunini ifodalaydi:

$$C_v = 3R$$

$$C_v = 8R$$

$$C_p = C_v + R$$

$$C_v = \frac{1}{2}R$$

№253 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi ifodalarning qaysi biri kapillyar naychalarda suyuqlikning ko'tarilishi balandligini ifodalaydi:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{Rg\rho}$$

$$h = \frac{2\sigma}{R}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\sigma \rho}$$

$$h = \frac{2g}{R\sigma\rho} \cos \theta$$

№254 Fan bobি-3; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi tenglamalardan qaysi biri Mendeleev-Klayperontenglamasi:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$\frac{PV}{T} = const$$

$$C = \frac{iR}{2\mu}$$

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

№255 Fan bobি-3; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalardan qaysi birida moddaning kritik holati to'g'ri keltirilgan:

$$V_k = 3b V = \frac{b}{3} V_k = 3b V_k = 3b$$

$$P_k = \frac{a}{27b^2} \quad P_k = \frac{27a}{8b^2} \quad P_k = \frac{8b}{27a} \quad R_k = \frac{8ba}{27R}$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad T_k = \frac{8a}{27b} \quad T_k = \frac{8a}{27R} \quad T_k = \frac{27a}{8b}$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad T_k = \frac{8a}{27b} \quad T_k = \frac{8a}{27R} \quad T_k = \frac{26a}{8b}$$

№256 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning kaysi biri suyuqliklarning egri sirti ostidagi bosimni ifodalaydi:

$$P^1 = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\sigma = \frac{A}{S}$$

$$P^1 = \sigma(r_1 + r_2)$$

$$P^1 = \frac{F}{S}$$

№257 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning qaysi biri Vont-Goffqonunini ifodalaydi:

$$\Pi = \nu \frac{RT}{V}$$

$$P\nu = \text{const}$$

$$P\nu^v = \text{const}$$

$$P_{01} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} P_{02}$$

№258 Fan bobি-7; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-3;

Quyidagi formulalarning qaysи birи gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientini ifodalaydi:

$$\chi = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho C_v$$

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{V} \rho$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta}$$

$$\Delta M = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \frac{dc}{dx} dsdt$$

№259 Fan bobি-8; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning qaysи birи gazlarda ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlaydi:

$$\eta = +\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta}$$

$$x = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho C_v$$

$$f = 6\pi\eta r V$$

№260 Fan bobি-8; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-3;

Quyidagi formulalarning qaysи birи diffuziya uchun Fikning 1-tenglamasini ifodalaydi:

$$\Delta M = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \frac{dc}{dx} dsdt$$

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \int c_v \frac{dc}{dx} dsdt$$

$$D = \frac{RT}{6\pi\eta N_A r}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

№261 Fan bobি-4; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Maksvell taqsimoti qanday sharoitlarda o'rinli bo'ladi?

Termodinamik muvozanat qaror topganda;

Har qanday sharoitda;

Molekulalar tezliklar bo'yicha kuch maydonlaridagi taqsimoti uchun;

Faqat temperatura kritik temperaturadan yuqori bo'lganda;

№262 Fan bobি-3; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Massalari 1/2 nisbatda bo'lgan ikki gaz aralashmasining o'rtacha molyar massasi  $\mu$  nimaga teng?

$$\frac{3\mu_1\mu_2}{2\mu_1 + \mu_2}$$

$$\frac{2\mu_1\mu_2}{\mu_1 + 2\mu_2}$$

$$\frac{1}{2}\mu_1\mu_2$$

$$\frac{2\mu_1\mu_2}{\mu_1 + \mu_2}$$

№263 Fan bobি-1; Fan bo'limи-12; Qiyinlik darajasi-2;

Massasi 135g bo'lgan alyuminiy buyumda qancha atom bor:

$$3 \cdot 10^{24}$$

$$2 \cdot 10^{24}$$

$$1 \cdot 10^{24}$$

$$0,5 \cdot 10^{24}$$

№264 Fan bobি-4; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-1;

Massasi 148 g bo'lgan dietil efirda ( $C_2H_5OC_2H_5$ ) nechta atom bor?

$$1.8 \cdot 10^{25}$$

$$1.6 \cdot 10^{24}$$

$$1.2 \cdot 10^{24}$$

$$2.2 \cdot 10^{24}$$

№265 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Massasi 2,73 kg, temperaturasi  $0^{\circ}S$  bo'lgan muz eriganda entropiyasi necha J/K ga ortadi ( $\lambda q330 \text{ kJ/kg}$ ) ?

3300;

660;

330;

9900;

№266 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-1;

Miller indekslari

Kristallardagi o'zaro parallel tekisliklarni tavsiflash uchun;
Kristallardagi aniq bir tekislikni belgilash uchun;
Kristallarni bir-biridan farqlash uchun;
Kristallarning asosiy simmetriya elementlarini belgilash uchun;

№267 Fan bobi-6; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Molekulalar aro ta'sir kuchlari:
Molekulalar aro ta'sir kuchlariga orientatsion, dispersion, induksionva vodorod bog'lanish kuchlari kiradi
Molekulalar aro ta'sir kuchlariga dispersion ta'sir kuchlari kiradi:
Molekulalar aro ta'sir kuchlariga orientatsion ta'sir kuchlari kiradi:
Molekulalar aro ta'sir kuchlariga induksion ta'sir kuchlari kiradi::

№268 Fan bobi-3; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Molekulalar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi ifodasi qanday ko'rinishda:
$P = \frac{1}{3} n m_n V^2$
$PV = NkT$
$P = \frac{3}{2} RT$
$\Delta Q = \Delta U$

№269 Fan bobi-3; Fan bo'limi-10; Qiyinlik darajasi-1;

Molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s bo'lgan 20 g massali bir atomli gazning ichki energiyasi necha J bo'ladi?
2500 ;
50;
250;
1000;

№270 Fan bobi-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Molekulaning hosil bo'lishida ximiyaviy bog'lanish turlari:
Molekulalar atomlarning ionli va kovalent bog'lanish asosida hosil bo'ladi:
Molekulalar atomlarning faqatgina ionli bog'lanish asosidamavjud bo'ladi:
Atomlarning faqatgina kovalent bog'lanishi asosida molekula hosil bo'ladi:
Molekulalar atomlarning mexanik aralashuvidan hosil bo'ladi:

№271 Fan bobi-4; Fan bo'limi-10; Qiyinlik darajasi-2;

Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi ifodasi qanday ko'rinishda?
$P = \frac{1}{3} n m_0 v^2$
$PV = nkT$

p/T=const

V/T=const

№272 Fan bobি-3; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Molyar issiqlik sig’imining birligini ko’rsating.

J/mol · K;

J/kg · K;

J/grad;

N · m /kg;

№273 Fan bobি-1; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Molyar massa deb nimaga aytildi?

$6 \cdot 10^{23}$  ta zarrachadan (atom, molekula) tashkil topgan modda massasiga;

berilgan modda atomi massasining uglerod atomi massasining 1/12 qismi nisbatiga;

273 K da 1 l hajmdagi modda massasiga;

molekulalarning grammlarda ifodalangan massasiga;

№274 Fan bobি-5; Fan bo’limи-10; Qiyinlik darajasi-2;

Mutlaq harorat noli:

Molekulyar harakatlar to’xtaydigan haroratdan;

O’tkazgich elektr qarshiligi nolga teng haroratdan;

Muzning erish temperurasidan;

Simob qotadigan temperaturadan;

№275 Fan bobি-1; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Raul qonuni: Ushbu ifodalarning qaysi biri Raul qonunini ifodalaydi:

$$P_{02} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} P_{01}$$

$$P_{01} = \frac{n_1 + n_2}{n_2} P_{02}$$

$$P_{01} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} P_{02}$$

$$P_{02} = \frac{n_1 + n_2}{n_2} P_{01}$$

№276 Fan bobি-5; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-1;

Real gazlar deb qanday gazlarga aytildi:

Molekulalari ma’lum xususiy hajm va massaga ega hamda o’z aro ta’sirlashadigan (uzoqlashganda tortishuvchi, yaqinlashganda itarishuvchi) gazlarga real gazlar deyiladi:

Molekulalari ma’lum hajm va massaga ega, ammo o’z aro ta’sirlashmaydigan

gazlarga real gazlar deyiladi:

Real gaz molekulalari o'z aro ta'sirlashadi ammo gaz molekulalari xususiy hajmga ega emas:

Real gaz molekulalari ham ideal gaz qonunlariga bo'ysunadi: Ana shunday gazlarga real gazlar deyiladi:

№277 Fan bobi-1; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Real gazlarning ichki energiyasi: Quyidagi ifodalarning qaysi biri real gazlarning ichki energiyasini ifodalaydi:

$$U = \frac{i}{2} KT - \frac{q}{v}$$

$$U = \frac{3}{2} KT$$

$$U = -\frac{q}{v}$$

$$U = C_v T$$

№278 Fan bobi-1; Fan bo'limi-11; Qiyinlik darajasi-2;

Sinashlarda biror voqeanning ro'y berish ehtimolligi 1/2 ga tengligi ma'lum bo'ldi. Sinashlar soni 4 ga teng bo'lganda, shu voqeanning 2 marta ro'y berish ehtimolligi qiymati nimaga teng bo'ladi?

6/8

1/4

1/8

3/8

№279 Fan bobi-1; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Sirt taranglik koeffitsientining birligini ko'rsating.

Ж/м<sup>2</sup>;

Н/м<sup>2</sup>;

Ж·с;

Н·м;

№280 Fan bobi-2; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-1;

Sistema holatining statistik vazni nima?

Barcha mikroholatlar soni;

Barcha makroholatlar soni;

Ayni bir makroholatni yuzaga keltiruvchi mikroholatlar soni

Ayni bir mikroholatni yuzaga keltiruvchi makroholatlar soni;

№281 Fan bobi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Sistemaning o'z-o'zidan muvozanat holatiga o'tishida uning entropiyasi va

holatining termodinamik ehtimolligi qanday o'zgaradi?

Ikkalasi ham ortadi;

Ehtimolligi kamayib, entropiyasi ortadi;

Ehtimolligi ortib, entropiyasi kamayadi;

Ikkalasi ham kamayadi;

**№282** Fan bobি-3; Fan bo'limи-11; Qiyinlik darajasi-2;

Suv  $100^{\circ}$  S da qaynagan bo'lsa, qaynayotgan suv ichida hosil bo'layotgan puffakchalar ichidagi bug'ning bosimi nimaga teng:

760 mm: sim:ust

100 mm: sim:ust

560 mm: sim:ust

660 mm: sim:ust

**№283** Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Suyuq kritallar va ularning xossalari:Suyuq kristallar o'z xossalariiga ko'ra quyidagi tipga bo'linadi:

Smektik, nematik va xolesterik

Smektik va nematik

Smektik

Nematik

**№284** Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Suyuq eritmalar:

Suyuq eritmalar deb ikki yoki undan ortiq suyuqliklarning o'z aro qo'shilishidan hosil bo'lган aralashmalarga aytildi

Suyuq eritmalar deb sof moddalarga aytildi

Ikkita qattiq moddalarning mexanik aralashmasiga suyuq eritmalar deyiladi

Qattiq moddalarning o'zaro qotishmasiga suyuq eritmalar deyiladi

**№285** Fan bobি-2; Fan bo'limи-13; Qiyinlik darajasi-3;

Suyuqliklarda sirt hodisalari: Sirt tarangligi:

Sirt yuza birligiga to'g'ri kelgan sirt erkin energiyasiga sirt tarangligi koeffitsienti deyiladi:

Suyuqliklarning sirt tarangligi koeffitsienti deb sirt yuza birligiga to'g'ri kelgan sirt tarangligi kuchiga aytildi:

Suyuqliklarning sirt tarangligi koeffitsienti deb suyuqlik sirt yuza birligiga to'g'ri kelgan qo'shimcha bosimga aytildi:

Sirt tarangligi koeffitsienti deb sirt uzunlik birligiga to'g'ri kelgan sirt erkin energiyasiga aytildi:

**№286** Fan bobি-2; Fan bo'limи-13; Qiyinlik darajasi-2;

Suyuqliklarning issiqlik sig'implari:

Suyuqliklarning issiqlik sig’imlari ularning strukturasiga, molekulalar aro ta’sir kuchlariga bog’lik bo’lib, doimiy hajmdagi issiqlik sig’imlari doimiy bosimdagi issiqlik sig’imlaridan sezilarli farq qiladi

Suyuqliklarning issiqlik sig’imlari ularning tuzilishiga molekulalar aro ta’sir kuchlariga bog’lik emas:

Barcha suyuqliklarning issiqlik sig’imlari bir-biridan farq qilmaydi va bir xil qiymatni qabul qiladi:

Suyuqliklarning issiqlik sig’imlari ularning strukturasiga bog’liq: Ammo doimiy hajmdagi issiqlik sig’imi doimiy bosimdagi issiqlik sig’imidan farq qilmaydi:

**№287 Fan bobি-1; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-2;**

Suyuqliklarning qaynashi:

Suyuqliklarning qaynashi deb butun hajmi bo'yicha bug'lanish ro'y beradigan jarayonga aytiladi: Bu vaqtda to'yingan bug'ning bosimi tashqi bosimga tenglashadi:

Suyuqliklar faqat ma'lum temperaturadan qaynaydi: Ularning qaynash temperaturasi tashqi bosimga bog'liq emas:

Suyuqliklar istalgan temperaturada qaynaydi: Ularning qaynashi deb bug'lanishiga aytiladi:

Suyuqliklarning qaynashi deb vaqt birligi ichida bug'lanish jarayoniga aytiladi:

**№288 Fan bobি-1; Fan bo’limи-5; Qiyinlik darajasi-2;**

Temperatura (harorat) ning molekulyar-kinetik ma'nosi nima?

Molekulalar o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi;

Modda agregat holatini belgilovchi parametr;

Molekulalar to'qnashuvlari intensivligi o'lchovi;

Molekulalar potentsial energiyasi o'lchovi;

**№289 Fan bobি-1; Fan bo’limи-3; Qiyinlik darajasi-2;**

Temperatura ortib borishi bilan solishtirma bug'lanish issiqligi:

Kamayib boradi;

Ortib boradi;

O'zgarmaydi;

Ba'zilariniki o'zgarmay, qolganlariniki kamayib boradi;

**№290 Fan bobি-1; Fan bo’limи-12; Qiyinlik darajasi-2;**

Temperatura ortib borishi bilan suyuqlik va gazlarning qovushoqligi:

Gazlarniki ortib, suyuqliklarniki kamayib boradi

Kamayib boradi

Ortib boradi

Gazlarniki kamayib, suyuqliklarniki ortib boradi

№291 Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Temperatura otrganda suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsienti:

Kamayadi

Ortadi

Avval ortib, keyin kamayadi

Avval kamayib, keyin ortib boradi

№292 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Temperaturaning turli xil shkalalari uchun quyidagi munosabatlarning qaysi biri noto'g'ri:

$t^{\circ}\text{C} = 273 + Tk$

$T = 273^{\circ}\text{C} + t^{\circ}\text{C}$

$tF = 32 + 1,8 t^{\circ}\text{C}$

$tF = 32 + 2,25 tR$

№293 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-1;

Temperaturasi  $0^{\circ}\text{C}$  bo'lgan  $4,2 \text{ kg}$  muzni butunlay eritish uchun necha  $kg$   $50^{\circ}\text{C}$  temperaturali issiq suv kerak bo'ladi? Muzning solishtirma erish issiqligi  $330 \text{ kJ/kg}$ , suvning solishtirma issiqlik sig'imi  $4,2 \text{ kJ/kg}$  ga teng.

6,60

2,10

3,30

0,84

№294 Fan bobি-1; Fan bo'limи-13; Qiyinlik darajasi-2;

Temperaturasi  $20^{\circ}\text{S}$  ga ortganda Geliyning ichki energiyasi qancha o'zgaradi:

12,5 kJ

25 kJ

5 Kj

45 Kj

№295 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Termodinamika fanida qanday usullardan foydalaniladi:

Statistik va termodinamik

Dinamik

Dinamik va statistik

Dinamik va termodinamik

№296 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Termodinamikada modda modeli sifatida qanday moddadan foydalaniladi:

Ideal gaz

Real gaz

Suyuq modda

## Qattiq jism

№297 Fan bobি-1; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Termodinamikaning birinchi qonuni issiqlik jarayonlarida ..... ning qo'llanishidir.

Energiyaning saqlanish qonuni;

Impulsning saqlanish qonuni;

Mendeleev-Klapeyron tenglamasi;

Boyl-Mariot qonuni;

№298 Fan bobি-2; Fan bo'limи-12; Qiyinlik darajasi-2;

Termodinamikaning birinchi qonuni ifodasini aniqlang:

$$\delta Q = dU + A$$

$$\delta Q = cmdT$$

$$\delta Q = \lambda m$$

$$\delta Q = dU$$

№299 Fan bobি-1; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

To'g'ri javobni toping:

Kristallarning barchasida nuqsonlar mavjud;

Monokristallarda nuqsonlar bo'lmaydi;

Temperatura ortganda kristallardagi nuqsonlar kamayadi;

Nuqsonlar faqat nuqtaviy xarakterga ega;

№300 Fan bobি-5; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

To'yingan bug' bosimining temperaturaga bog'liqligi: To'yingan bug'ning bosimi temperaturaga quyidagicha bog'langan:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dT}{dP} = \frac{(V_2 - V_1)}{TL}$$

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T(V_2 - V_1)}{L}$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{T}{L(V_2 - V_1)}$$

№301 Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

O'zgarmas temperaturada gazning bosimi 1 atm. dan 400 mm.sim.ust. gacha o'zgarsa, gazning hajmi necha marta o'zgaradi?

1,9;

1,4;

1,6;

1,2;

№302 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Uzunligi 30 sm bo'lgan sterjen temperaturasi 70 K ga oshirilganda 0,42 mm ga uzaygan bo'lsa, uning chiziqli kengayish koeffitsienti qiymati nimaga teng (1/K da)?

$$2 \cdot 10^{-5}$$

$$2.5 \cdot 10^{-5}$$

$$2.9 \cdot 10^{-5}$$

$$2.5 \cdot 10^{-4}$$

№303 Fan bobি-3; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Uchta bir xil hajmli idishda bir xil sharoitda vodorod, kislorod va CO<sub>2</sub> gazi qamalgan bo'lsa, ulardan qaysi birining zichligi eng kam?

Vodorodniki;

Kislorodniki;

CO<sub>2</sub> gaziniki;

Uchchalasiniki bir xil;

№304 Fan bobি-4; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ushbu ifodalarning qaysi biri noo'r'in :

$$PV = \frac{\mu}{m} RT$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m g^2}{2}$$

$$P=nKT$$

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

№305 Fan bobি-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ushbu ifodalarning qaysi biri TSelsiy va Parangeyt shkalalari orasidagi munosabatni ifodalaydi:

$$tF=32+1,8 t^{\circ}\text{C}$$

$$tF=32+2,25tR$$

$$tF=32+1,8(T-273)$$

$$tF=32+1,8t^{\circ}\text{C}$$

№306 Fan bobি-1; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi-2;

Ushbu ifodaning qaysi biri Gey-Lyusaak qonunining ifodalaydi:

$$P=\text{const bo'lsa}, \frac{V}{T}=\text{const}$$

$$V=\text{const bo'lsa}, \frac{P}{T}=\text{const}$$

T=const bo'lsa,  $\frac{P}{V} = \text{const}$

T=const bo'lsa,  $PV = \text{const}$

№307 Fan bobি-2; Fan bo'limi-10; Qiyinlik darajasi-1;

Ushbu ifodaning qaysi biri to'g'ri:

$$\vec{g}_{ap} = \sqrt{\frac{8}{\pi} \frac{RT}{\mu}}$$

$$\vec{g}_{yoo} = \sqrt{\frac{2KT}{\mu}}$$

$$\vec{g}_{xom} = \sqrt{\frac{2RT}{m}}$$

$$\vec{g}_{ke} = \sqrt{\frac{3RT}{m}}$$

№308 Fan bobি-1; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-1;

Ushbu ifodaning qaysi biri SHarl qonunini ifodalaydi:

V=const bo'lsa,  $\frac{P}{T} = \text{const}$

P=const bo'lsa,  $\frac{V}{T} = \text{const}$

T=const bo'lsa,  $\frac{P}{V} = \text{const}$

T=const bo'lsa,  $PV = \text{const}$

№309 Fan bobি-2; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ushbu munosabatlarning qaysi biri o'rinni:

$1\text{Pa}=10^3\text{dn/sm}^2$

1 fizik atm= $1,013 \cdot 10^5$  Pa

1 tex: atm= $0,98 \cdot 10^5$  Pa

1 tor= 133,32 Pa

№310 Fan bobি-1; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Fazaviy o'tishlar: Fazaviy o'tishlar issiqligi:

Moddalarning bir termodinamik fazadan ikkinchi termodinamik fazaga o'tishi fazaviy o'tishlar deyiladi: Fazaviy o'tishlar issiqlikning yutilishi yoki chiqarilishi bilan ro'y beradi:

Moddalarning bir agregat holatlardan ikkinchi agregat holatiga o'tishga fazaviy o'tishlar deb moddalarning o'z-o'zidan bir fazaviy holatdan ikkinchi fazaviy holatiga o'tishga aytildi: Bu vaqtida issiqlik yutilmaydi ham chiqarilmaydi ham:

Moddalarning bir fizik holatlardan ikkinchi fizik holatga o'tishga fazaviy o'tishlar deyiladi: Fazaviy o'tishlar faqat energiyaning yutilishi bilan ro'y beradi:

Moddalarning bir turdag'i holatlardan ikkinchi tur ko'inishga o'tishga fazaviy o'tishlar deyiladi: Fazaviy o'tishlar faqat energiyaning chiqarilishi bilan ro'y beradi:

№311 Fan bobি-1; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Foydali ish koeffitsienti 30% bo'lgan issiqlik mashinasi 1800 J ish bajarsa, har tsiklda isitkichdan qancha issiqlik miqdori olgan bo'ladi?

6000J

5400 J

4200 J

3800 J

№312 Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Xajmi  $3 \text{ cm}^3$  bo'lgan alyuminiyda qancha atom bor? Alyuminiyning zichligi 2,7  $\text{g/cm}^3$ , molyar massasi 27 g/mol.

$1.8 \cdot 10^{23}$

$18 \cdot 10^{23}$

$5.4 \cdot 10^{24}$

$9.1 \cdot 10^{23}$

№313 Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Havoning nisbiy namligi 60% va uning Har bir  $\text{m}^3$  da 60 gr. suv bug'i bo'lsa, shu temperaturadagi to'yingan bug' zichligi qancha?

100

46

10

36

№314 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-1;

Hajmi  $0,8 \text{ m}^3$  bo'lgan gazning 300 K temperaturadagi bosimi 280 kPa. SHu gazning 160 kPa bosim va  $1,4 \text{ m}^3$  hajmdagi temperaturasini aniqlang.

300 K;

150 K;

250 K;

30 K;

№315 Fan bobি-1; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Hajmi  $138 \text{ cm}^3$  bo'lgan idishdagi gaz bosimi 300 K haroratda  $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bo'lsa, idishdagi molekulalar soni nechta?

$10^{22}$

$2 \cdot 10^{19}$

$10^{20}$

$10^{21}$

№316 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Hajmi  $8,3 \text{ m}^3$  idishda  $27^\circ\text{S}$  temperaturali  $0,2 \text{ kg}$  vodorodning bosimini toping.

$3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

$30 \text{ Pa}$ ,

$60 \text{ Pa}$ ,

$250 \text{ Pa}$ ,

№317 Fan bobি-1; Fan bo'limi-10; Qiyinlik darajasi-1;

Hajmi  $8,31 \text{ l}$  bo'lган 1 mol gazning  $27^\circ\text{C}$  temperaturadagi bosimi necha Pa?

$3 \cdot 10^5$ ;

$2 \cdot 10^5$ ;

$3 \cdot 10^4$ ;

$4 \cdot 10^{-5}$ ;

№318 Fan bobি-1; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-3;

Elastik prujina  $20 \text{ N}$  kuch ta'sirida  $2 \text{ sm}$  ga cho'zilgan bo'lsa, prujinaning bikrligi nimaga teng?

1000

100

200

400

№319 Fan bobি-2; Fan bo'limi-11; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning qaysi biri termodimamikaning 1- qonunini ifodalaydi:

$dQ = dU + dA$

$Pv = const$

$Pv^v = const$

$$P_{01} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} P_{02}$$

№320 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gaz molekulasining ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi qaysi ifoda bilan topiladi:

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

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

$$C = \frac{3K}{2M}$$

$$E = \frac{5}{2} kT$$

№321 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Gazlarda izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni formulasini aniqlang.

\*  $Q = A$

$\Delta U = A$

$Q = \Delta U$

$Q = Lm$

№322 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz izotermik kengayganda,  $30J$  ish bajardi. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan ( $J$ )?

\*30

40

50

100

№323 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Siklda issiqlik mashinasi  $21kJ$  ish bajarib,sovutkichga  $29kJ$  issiqlik miqdorini beradi. Mashinaning foydali ish koeffisientini aniqlang.

\*30%

40%

42%

52%

№324 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Foydali ish koeffisienti  $\eta$  bo'lган issiqlik mashinasi isitkichdan  $Q$  issiqlik miqdori olganda, qanday ish bajaradi?

\*  $\eta \cdot Q$

$(1 + \eta) \cdot Q$

$(1 - \eta) \cdot Q$

$\frac{Q}{\eta}$

$\eta$

№325 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 3

Isitkichning harorati  $477^{\circ}C$ , sovutkichniki  $27^{\circ}C$  bo'lган issiqlik mashinasining maksimal FIKni hisoblang (%).

\*60

30

40

20

№326 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gaz isiganda uning  $p$  bosimi o'zgarmay,  $V$  hajmi  $1,3$  martta ortsa, u qanday  $A$  ish bajaradi?

\*  $A = 0.3 p V$

$$A = 3pV$$

$$A = 0.7pV$$

$$A = 1.3pV$$

№327 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmi  $1.38m^3$  bo'lgan yopiq idishda temperaturasi  $t = 227^\circ C$  va bosimi  $p=10kPa$  bo'lgan ideal gaz bor. Bu gazning molekulalari soni  $N$  nimaga teng?

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

$$* 2 * 10^{24}$$

$$4.5 * 10^{25}$$

$$4 * 10^{24}$$

$$5 * 10^{25}$$

№328 Fan bobি-1; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi – 3

Agar idishga bir xil kontsentratsiyali geliy va vodorod qamalgan bo'lsa, geliy va vodorod gazlarining parsial bosimlari qanday nisbatda bo'ladi?

$$* 1$$

$$2$$

$$4$$

$$0.5$$

№329 Fan bobি-1; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gazning haroratini 4 marta kamaytirsak, molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

\*4marta kamayadi

2marta kamayadi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№330 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

Idishda ideal gaz bor. Agar idishning bosimi va hajmi 2 marta orttirilsa, molekulalarning o'rtacha kvadratik tezliklari qanday o'zgaradi?

\*2 marta ortadi

o'zgarmaydi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№331 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz  $P\sqrt[3]{T} = \text{const}$  qonuniyat bo'yicha o'zgarmoqda. Agar gazning bosimi 2 marta kamaysa, uning hajmi qanday o'zgaradi?

\*16 marta ortadi

8 marta ortadi

16 marta kamayadi

8 marta kamayadi

332 Fan bobি-6; Fan bo'limи-1-3; Qiyinlik darajasi – 1

Biror  $T$  temperaturadagi  $1\text{mol}$  bir atomli gazning temperaturasini doimiy bosimda

2 marta oshirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo'ladi?

\* 5RT

1.5RT

2RT

2.5RT

№333 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi jarayonlarning qaysi birida bajarilgan ish nolga teng?

\*Izoxorik

Izotermik

Adiabatik

Izobarik

№334 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 3

4.4kg massali geliyni izoxorik ravishda  $400^{\circ}C$  ga qizdirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak (MJ)?

\*4

1.25

2.5

4.25

№335 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Termodinamikaning birinchi qonuni adiabatik jarayon uchun qanday ko'rinishda yoziladi? Javoblardan to'g'risini tanlang.

$$*\Delta U + A = 0$$

$$Q = \Delta U$$

$$Q = A$$

$$Q = \Delta U + A$$

№336 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 2

FIK 40% bo'lgan issiqlik mashinasи bitta siklda 34 kJ ish bajaradi. Mashina bir sikldasovutkichga qancha issiqlik miqdori berishini aniqlang (kJ)?

\*85

42

51

63

№337 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Agar issiqlik dvigateli isitkichdan olgan issiqlik miqdorining uchdan ikki qismini Sovutkichga bersa, dvigatelning FIK ni toping (%).

\*33

54

67

60

№338 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Karno sikllida ishlayotgan bug' turbinasiga temperaturasi  $480^{\circ}C$  bo'lgan bug' kirib undan  $30^{\circ}C$  temperaturada chiqsa, turbinaning FIKni aniqlang (%).

\*60  
70  
30  
40

№339 Fan bobi-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gaz 2 marta kengayib, temperaturasi  $27^{\circ}\text{C}$  bo'lib qolsa, gazning dastlabki temperaturasi qanday bo'lgan? Bunda bosim o'zgarmagan.

\* –  $123^{\circ}\text{C}$   
 $123^{\circ}\text{C}$   
 $-50^{\circ}\text{C}$   
 $50^{\circ}\text{C}$

№340 Fan bobi-5; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalari tezligi 1) o'zaro to'qnashuvlarda; 2) idish devori bilan to'qnashganda; 3)o'z-o'zidan uzlusiz ravishda; 4)temperatura o'zgarganda o'zgaradi.

1,4  
1,2  
2,4  
1,3

№341 Fan bobi-6; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi 2 marta kamayib, tem peraturasi 2 marta ortsa, gazning bosimi qanday o'zgaradi?

Ikki marta kamayadi;  
O'zgarmaydi;  
Ikki marta ortadi;  
To'rt marta ortadi;

№342 Fan bobi-6; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasi deb:

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(v, \bar{p}, T, m, \mu) = 0$$

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(\vartheta) = ndnd\vartheta$$

№343 Fan bobi-2; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkorko'rinishini aniqlang:

$$f(g) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mg^2}{2kT}}$$

$$n = n_0 e^{-\frac{E_p}{KT}}$$

$$P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

$$f(x) = Ae^{-\alpha x^2}$$

№344 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkor ko'rinishini kim aniqlagan:

Maksvell

Goltsman

Faradey

Nyuton

№345 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi uning 1) tezligining o'rtacha qiymatiga; 2) tezligining kvadrati o'rtacha qiymatiga; 3) absolyut temperaturaga; 4) TSelsiy shkalasi bo'yicha o'lchanadigan temperaturaga proportsional

2,3

1,2

3, 4

3

№346 Fan bobি-6; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining eng katta ehtimolli tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_1$ , o'rtacha arifmetik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_2$  va o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_3$  orasida qanday munosabat o'rinni?

$P_1 > P_2 > P_3$

$P_3 > P_2 = P_1$

$P_3 < P_2 > P_1$

$P_1 < P_2 < P_3$

№347 Fan bobি-6; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $57^{\circ}\text{C}$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

10;

30;

21;

15;

№348 Fan bobi-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz universal doimiysi qanday birlikda o'lchanadi:

$\frac{\mathcal{H}}{MOL \cdot K}$

$\frac{\mathcal{H}}{MOL \cdot K}$

$\frac{\mathcal{H}}{K}$

$\frac{\mathcal{H}}{K} MOL$

№349 Fan bobi-6; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz hajmining doimiy bosimdagi termik koeffitsientini aniqlovchi formulani ko'rsating

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$\alpha = \frac{1}{v} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\chi = - \frac{1}{v} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta}$$

№350 Fan bobi-5; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gazlarni suyultirish:

Gazlarni suyultirish uchun avval ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish va undan keyin siqish lozim:

Real gazlarni suyultirish uchun gazlarni eng avval siqish va undan keyin kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni siqishning o'zi etarli

№351 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

To'g'ri javobni toping:

\*kristallarning barchasida nuqsonlar mavjud

monokristallarda nuqsonlar bo'lmaydi

Nuqsonlar faqat nuqtaviy xarakterga ega

nuqsonlar faqat chizig'iy xarakterga ega

№352 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molyar massa deb nimaga aytiladi?

\*  $6 \cdot 10^{23}$  ta zarrachadan (atom, molekula) tashkil topgan modda massasiga

berilgan modda atomi massasining uglerod atomi massasining 1/12 qismi nisbatiga

273 K da 1 l hajmdagi modda massasiga

molekulalarning grammlarda ifodalangan massasiga

№353 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz ideal bo'lisi uchun nimalarni hisobga olmaslik kerak?

\*molekulalarning masofadan ta'sirlashishini

molekulalarning to'qnashgandagi o'zaro tahsirini

molekulalar harakatini

molekulalarning to'qnashuvini

№354 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Issiqlik muvozanatida bo'lган ikkita turli gazning holat parametrlaridan qaysilari bir xil?

\*harorati

Bosim

Hajm

Quvvat

№355 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 3

Temperatura (harorat) ning molekulyar-kinetik ma'nosi nima?

molekulalar o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi

modda agregat holatini belgilovchi parameter

molekulalar to'qnashuvlari intensivligi o'lchovi

molekulalar potentsial energiyasi o'lchovi

356 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi 2 marta kamayib, temperaturasi 2 marta ortsа, gazning bosimi qanday o'zgaradi?

\*o'zgarmaydi

Ortadi

Kamayadi

2 marta ortadi

№357 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning harorati to'rt marta, hajmi ikki marta orttirilsa, uning bosimi qanday o'zgaradi?

\*ikki marta ortadi

4 marta otradi

3 marta ortadi

O'zgarmaydi

№358 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi  $0.8m^3$  bo'lган gazning 300 K temperaturadagi bosimi 280 kPa. Shu gazning 160kPa bosim va  $1.4m^3$  hajmdagi temperaturasini aniqlang.

300

450

234

745

№359 Fan bobি-3; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Atmosferadagi qaysi gaz molekulalari tezroq harakat qiladi?

\*vodorod

Kislorod

Uglerod

Geliy

№360 Fan bobি-4; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 3

Agar gaz temperaturasi 300 K ga oshirilganda, bosim va hajm ikki martadan ortgan bo'lsa, gazning oxirgi temperaturasi necha Kelvin?

\*400

500

235

765

№361 Fan bobি-3; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 4

Issiqlik muvozanatida bo'lган ikkita turli gazning holat parametrlaridan qaysilari bir xil?

\*harorati

Bosim

Hajm

TEZLIK

№362 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Bosimi 200 Pa va hajmi 30 l bo'lган ikki atomli gazning ichki energiyasi qiymati nimaga teng?

\*15 J

34

19

29

№363 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Hajmi 8,311 bo'lган 1mol gazning  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturadagi bosimi necha Pa?

\* $3 \cdot 10^5$

$2 \cdot 10^5$

$3 \cdot 10^4$

$4 \cdot 10^5$

№364 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ballondagi  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturadagi gaz 40 atm bosim hosil qiladi. Agar gazning yarmi chiqarib yuborilgandan so'ng, temperatura  $12^{\circ}\text{C}$  bo'lib qolgan bo'lsa, ballondagi bosim necha atm. bo'ladi?

\*19.6

34.4

12.8

87.4

№365 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ballondagi gaz chiqishi natijasida gazning massasi 1,5 marta, tempetarurasi 1,4 marta kamaysa, bosim necha marta kamayadi?

\*2,1

1.6

2.9

4,8

№366 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz 10 kPa bosimda 100 l hajmni egallaydi. Temperatura o'zgarmaganda shu gazning 500kPa bosimda necha litr hajmni egallaydi?

2

3

4

6

№367 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

O'zgarmas temperaturada gazning bosimi 1atm. dan 400 mm.sim.ust. gacha o'zgarsa, gazning hajmi necha marta o'zgaradi?

\*1,9

5,8

4,9

2.7

№368 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Idishdagi gazning temperaturasi  $10^{\circ}\text{C}$ . Uning temperurasini izobarik ravishda necha gradusga olib chiqqanimizda hajmi ikki marta oshadi?

\*293

234

123

675

876

№369 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sirt taranglik koeffitsientining birligini ko'rsating

$$*\frac{J}{m^2}$$

J\*K

K

Wt

№370 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $57^{\circ}\text{C}$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

\*10

23

56

29

76

№371 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Maksvell taqsimoti qanday sharoitlarda o'rinali bo'ladi?

\*Termodynamik muvozanat qaror topganda

Har qanfay sharoitda

Ozgarmas hajmda

Ozgarmas temperaturada

№372 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Nima uchun  $C_p$  - issiqlik sig'imi  $C_v$  - issiqlik sig'imidан katta?

\* $P=\text{const}$  bo'lganda gaz ko'proq va gaz kengayib ish bajaradi

$V=\text{const}$  bolganda koproq kengayadi

$V=\text{const}$  bo'lganda gaz ish bajarmaydi

bu ikki holda gaz molekulalarining erkinlik darajalari soni turlichа

№373 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^\circ C$  dan  $57^\circ C$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

$$*\frac{m^2}{c}$$

$Pa \cdot S$

$Wt \cdot S$

$$\frac{N}{m \cdot s}$$

№374 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sistemaning o'z-o'zidan muvozanat holatiga o'tishida uning entropiyasi va holatining termodinamik ehtimolligi qanday o'zgaradi?

\*ikkalasi ham ortadi

Kamayadi

Ozgarmaydi

Chiziqli otradi

№375 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Absolyut nolga yaqinlashganda sistema entropiyasi . . . . .

\*nolga intiladi

Ortadi

Kamayadi

Chiziqli otradi

№376 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Molyar issiqlik sig'imining birligini ko'rsating.

$$*\frac{J}{mol \cdot K}$$

J

K

J/K

377 Fan bobি-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Sistema holatining statistik vazni nima?

\*barcha mikroholatlar soni

barcha makroholatlar soni

ayni bir makroholatni yuzaga keltiruvchi mikroholatlar soni

ayni bir mikroholatni yuzaga keltiruvchi makroholatlar soni

№378 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining birligini ko'rsating.

$$* \frac{W_t}{m \cdot K}$$

J/K

K

Mol

№379 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $3 \cdot 10^{-6} m$ ; o'rtacha arifmetik tezligi esa  $500 \frac{m}{s}$  bo'lsa, gazning diffuziya koeffitsienti qiymati necha

$$\frac{m^2}{s} \text{ bo'ladi?}$$

\* $15 \cdot 10^{-4}$

$1.5 \cdot 10^{-4}$

$0.6 \cdot 10^{-4}$

$6 \cdot 10^{-4}$

№380 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

6 g vodorodning hajmi ikki marta izotermik oshgandagi entropiyasi o'zgarishi necha J/K ga teng bo'ladi?

\*17,3

34,9

45,8

12,7

№381 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 1

Agar gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $3 \cdot 10^{-6} m$ ; o'rtacha

arifmetik tezligi esa  $500 \frac{m}{s}$  bo'lsa, gazning diffuziya koeffitsienti qiymati necha

$$\frac{m^2}{s} \text{ bo'ladi?}$$

\* $15 \cdot 10^{-4}$

$1.5 \cdot 10^{-4}$

$0.6 \cdot 10^{-4}$

$6 \cdot 10^{-4}$

№382 Fan bobi-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 100 kPa, molekulalari kontsentratsiyasi  $10^{25} M^{-3}$  bo'lganda gazning temperaturasini toping:

725 K

625 K

525 K

425 K

№383 Fan bobি-5; Fan bo’limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 100 kPa, hajmi 4 l bo’lgan gazning temperaturasi avval 100 K ga oshirildi. So’ngaz gaz bosimi 200 kPa, hajmi 3 l bo’lgan holatga o’tkazildi. Agar gaz bir atomli bo’lsa, uning ichki energiyasi qanchaga o’zgargan (kJ)?

0,3

0,4

0,6

0,8

№384 Fan bobি-5; Fan bo’limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 200 kPa, hajmi 3 l bo’lgan gazning bosimi o’zgarmas hajmda ikki marta oshirilgach uning hajmi bosimi o’zgarmagan holda ikki marta oshirildi. Bunda gaz qancha (kJ) ish bajargan?

1,2

1200

0,6

600

№385 Fan bobি-5; Fan bo’limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 200 Pa va hajmi 30 l bo’lgan ikki atomli gazning ichki energiyasi qiymati nimaga teng?

15 J

13 J

11 J

45 J

№386 Fan bobি-5; Fan bo’limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 30 kPa bo’lgan gazning zichligi  $1 \text{ кг/m}^3$  bo’lsa, gaz molekulalarining o’rtacha kvadratik tezligi necha m/s bo’ladi?

300

200

350

400

№387 Fan bobি-3; Fan bo’limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bosimi 3300 kPa va zichligi  $1,1 \text{ кг/m}^3$  bo’lgan gaz molekulalarining o’rtacha kvadratik tezligi necha m/s ga teng?

1730

600

700

2000

№388 Fan bobি-7; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Broun zarrasi uchun Eynshteyn-Smolukovskiylar chiqargan o'rtacha kvadratik ko'chish masofasining vaqtga bog'liq ravishda o'zgarish ifodasining to'g'ri ko'rinishini aniqlang:

$$\Delta \overline{x^2} = \frac{kT}{3\pi\eta a} t$$

$$\Delta \overline{x^2} = \frac{3\pi\eta a}{kT} t$$

$$\Delta \overline{x^2} = \frac{kT}{3\pi\eta a t}$$

$$\Delta \overline{x^2} = \frac{kT}{3\pi} \eta a t$$

№389 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi:

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb qaynash temperaturasidagi 1 g moddani butunlay bug'ga aylantirish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga aytiladi

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb 1 g moddani bug'lantirish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga aytiladi

Bug' hosil bo'lishining yashirin issiqligi deb moddani butunlay bug'ga aylantirish uchun sarf bo'lган issiqlik miqdoriga aytiladi

Qaynayotgan moddaning 1 g butunlay bug'lantirish uchun kerak bo'lган issiqlik miqdoriga bug' hosil bo'lishning yashirin issiqligi deyiladi

№390 Fan bobি-5; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Van-der-Vaalstenglamasi: Ushbu tenglamalarning qaysi biri 1 mol real gaz uchun Van-der-Vaalstenglamasi ekanligini aniqlang:

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

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

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

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

№391 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz 10 kPa bosimda 100 l hajmni egallaydi. Temperatura o'zgarmaganda shu gazning 500 kPa bosimda necha litr hajmni egallaydi?

2;

5;

20;

50;

№392 Fan bobi-5; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz aralashmasi 2,5 gramm vodoroddan va 40 gr kisloroddan tashkil topgan bo'lsa, aralashmaning o'rtacha molyar massasi nimaga teng bo'ladi?

17 g/mol

9 g/mol

10 g/mol

13 g/mol

№393 Fan bobi-6; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz bosimi 6 atm, hajmi 7 l, temperaturasi 400 K bo'lган holatdan bosimi 3 atm, hajmi 14 l bo'lган holatga o'tganda uning temperaturasi necha gradusga teng bo'lib qoladi?

123<sup>0</sup> C

223<sup>0</sup> C

173<sup>0</sup> C

153<sup>0</sup> C

№394 Fan bobi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz ideal bo'lishi uchun nimalarni hisobga olmaslik kerak?

Molekulalarning masofadan ta'sirlashishini;

Molekulalarning to'qnashgandagi o'zaro ta'sirini;

Molekulalar harakatini;

Molekulalarning to'qnashuvini;

№395 Fan bobi-5; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalari tezligi 1) o'zaro to'qnashuvlarda; 2) idish devori bilan to'qnashganda; 3)o'z-o'zidan uzlucksiz ravishda; 4)temperatura o'zgarganda o'zgaradi.

1,4

1,2

2,4

1,3

№396 Fan bobi-6; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining kontsentratsiyasi 2 marta kamayib, tem peraturasi 2 marta ortsa, gazning bosimi qanday o'zgaradi?

Ikki marta kamayadi;

O'zgarmaydi;

Ikki marta ortadi;

To'rt marta ortadi;

№397 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasi deb:

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(v, \bar{p}, T, m, \mu) = 0$$

$$f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$$

$$f(\vartheta) = ndnd\vartheta$$

№398 Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkoriko'rinishini aniqlang:

$$f(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi KT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2KT}}$$

$$n = n_0 e^{-\frac{E_p}{KT}}$$

$$P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

$$f(x) = Ae^{-\alpha x^2}$$

№399 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimot funktsiyasining oshkoriko'rinishini kim aniqlagan:

Maksvell

Goltsman

Faradey

Nyuton

№400 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi uning 1) tezligining o'rtacha qiymatiga; 2) tezligining kvadrati o'rtacha qiymatiga; 3) absolyut temperaturaga; 4) TSelsiy shkalasi bo'yicha o'lchanadigan temperaturaga proportsional

2,3

1,2

3, 4

3

№401 Fan bobি-6; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulalarining eng katta ehtimolli tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_1$ ,

o'rtacha arifmetik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_2$  va o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'lish ehtimolligi  $P_3$  orasida qanday munosabat o'rini?

$$P_1 > P_2 > P_3$$

$$P_3 > P_2 = P_1$$

$$P_3 < P_2 > P_1$$

$$P_1 < P_2 < P_3$$

№402 Fan bobi-6; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz molekulyar harakatining kinematik xarakteristikalarini quyidagi ifodalarning qaysi biri to'la ifodalaydi:

Gaz molekulasing erkin yugurish masofasi, effektiv kesimi, o'rtacha to'qnashuvlar soni

Gaz molekulasing erkin yugurish masofasi va effektiv kesimi

Gaz molekulasing o'rtacha to'qnashuvlar soni

Gaz molekulasing effektiv kesimi

№403 Fan bobi-4; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz payvandlash ishlarini bajarishdan avval kislorod balonnining monometri 10 Mpa bosimni, payvandlash ishlari tamom bo'lgach, 8 MPa bosimni ko'rsatgan bo'lsa, ishlarni bajarishda qancha (foiz hisobida) kislorod ihlatalgan?

20

40

60

80

№404 Fan bobi-6; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz o'zgarmas bosimda  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $57^{\circ}\text{C}$  gacha isitilganda uning hajmi necha foizga ortadi?

10;

30;

21;

15;

№405 Fan bobi-3; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz universal doimiysi qanday birlikda o'lchanadi:

$$\frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot K}$$

$$\frac{\text{ж}}{\text{моль}}$$

$$\frac{\text{ж}}{K}$$

$$\frac{\chi}{K} \text{ MO.lib}$$

№406 Fan bobি-6; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gaz hajmining doimiy bosimdagi termik koeffitsientini aniqlovchi formulani ko'rsating

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g}$$

№407 Fan bobি-5; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Gazlarni suyultirish:

Gazlarni suyultirish uchun avval ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish va undan keyin siqish lozim:

Real gazlarni suyultirish uchun gazlarni eng avval siqish va undan keyin kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni kritik temperaturadan past temperaturaga sovitish kerak:

Gazlarni suyultirish uchun ularni siqishning o'zi etarli

№408 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Gazlarning izotermik siqiluvchanlik koeffitsienti deb, quyidagi ifodalarning qaysi biriga aytiladi:

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g}$$

№409 Fan bobি-5; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Dalton qonunining matematik ifodasini aniqlang:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_i$$

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$P=nKT$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m g^2}{2}$$

№410 Fan bobbi-4; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Diametri 0,5 mm bo'lgan kapillyar nayda ko'tarilgan suv  $\left( \sigma = 73 \frac{MA}{M}, \rho = 10^3 \frac{\kappa^2}{m^3} \right)$  ning massasini toping:

12 mg

24 mg

36 mg

48 mg

№411 Fan bobbi-5; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Diametri qanday bo'lgan kapillyar nayda suvning ko'tarilish balandligi 14,4 mm ga teng bo'ladi? Suvning sirt taranglik koeffitsienti 72 mN/m va og'irlik kuchi tezlanishi  $10 \text{ m/c}^2$  deb olinsin.

2 mm

0,8 mm

1,0 mm

1,5 mm

№412 Fan bobbi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning izotermik jarayonda bajargan ishini aniqlang:

$$\delta A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = \frac{RT}{\gamma^{-1}} \left[ 1 - \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \right]$$

$$\delta A = C_p dT$$

$$\delta A = PdV$$

№413 Fan bobbi-2; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning izoxorik jarayonda bajarilgan ishini aniqlang:

$$A=0$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\delta A = C_p dT$$

№414 Fan bobbi-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning ichki energiyasi

Faqat T ga
T, R va V ga
Faqat T va V ga
Faqat R ga

№415 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning ichki erengiyasining o'zgarishi nimaga teng:

$$dU = \frac{m}{\mu} C_V dT$$

$$dU = \delta Q + \delta A$$

$$dU = CdT$$

$$dU = dE_K$$

№416 Fan bobি-2; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning xolat tenglamasi.

$$PV = NkT$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$p/T = \text{const}$$

$$PV/T = \text{const}$$

№417 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning hajmi 25% ga, temperaturasi 2,5 marta ortsa, bosimi necha marta ortadi?

2,0

1,83

1,66

1,33

№418 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning hajmi va harorati 2 marta oshgan bulsa, bosimi necha marta o'zgargan bo'ladi?

O'zgarmasdan qoladi,

4 marta kamayadi,

2 marta kamayadi,

2 marta ortadi,

№419 Fan bobি-4; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning harorati to'rt marta, hajmi ikki marta orttirilsa, uning bosimi qanday o'zgaradi?

Ikki marta kamayadi;

To'rt marta kamayadi;

Ikki marta ortadi.

To'rt marta ortadi;

№420 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning haroratini 4 marta kamaytirsak, molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

4 marta kamayadi,

2 marta kamayadi

2 marta oshadi,

4 marta oshadi,

№421 Fan bobি-4; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning holat tenglamasi:

$$PV = NkT$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$PV/T = const$$

№422 Fan bobি-2; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal gazning holat tenglamasini aniqlang:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$PV = \frac{\mu}{m} RT$$

$$PV = \frac{m}{\mu} \frac{R}{T}$$

$$PV = \frac{m}{\mu} \frac{T}{R}$$

№423 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal issiqlik mashinasi isitkichdan olgan issiqlik miqdorining 70% ni sovutkichga beradi, Isitgichdan har tsiklda 1800 J issiqlik miqdori olinsa, mashina har tsiklda qancha ish bajaradi?

540 J

300 J

440 J

200 J

№424 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Ideal issiqlik mashinasining FIK 70 % ga teng. Agar mashina isitkichining temperaturasi 600 K ga teng bo'lsa, isitkich va sovutkich temperaturalarining farqi necha gradus bo'ladi?

420;

42;

36;

300;

№425 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Idishdagi gaz aralashmasi 160 gramm kisloroddan va 32 gramm geliydan tashkil topgan bo'lsa, aralashmada qancha modda miqdori bor?

13 mol

9 mol

7 mol

15 mol

№426 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Idishdagi gazning temperaturasi  $10^{\circ}\text{C}$ . Uning temperaturasini izobarik ravishda necha gradusga olib chiqqanimizda hajmi ikki marta oshadi?

293;

40;

283;

373;

№427 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Izobarik jarayonda 2 atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi ichki energiyaga aylanadi?

5/7

$\frac{3}{4}$

4/5

2/3

№428 Fan bobি-7; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-1;

Izobarik jarayonda bir atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi (foizlarda) gazning ish bajarishiga sarf bo'ladi?

40%

50%

30%

25%

№429 Fan bobি-7; Fan bo'limи-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ikki atomli va bosimi 1 atm, bo'lgan gaz o'zgarmas bosimda qizdirilganda uning hajmi 10 l ga ortgan bo'lsa, unga qancha issiqlik mikdori berilgan?

3,5 KJ

500 J

750 J

2,5 kJ

№430 Fan bobি-4; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-3;

Ikki atomli ideal gaz 24 kPa bosimda 10 l hajmni egallagan bo'lsa, uning ichki energiyasi nimaga teng?

0,6 kJ

1 kJ

2.5 kJ

4 kJ

№431 Fan bobি-5; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Ikkita bir xil hajmli idishda, birida  $P_1$ , ikkinchisida  $P_2$  bosimli gaz bor. Ular o'zaro ingichka nay bilan tutashtirilsa, idishdagi bosim nimaga teng bo'lib qoladi?

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$P = \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 + P_2}$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{P_1 \cdot P_2}$$

№432 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi isitkich temperaturasi 227 S,sovutkich temperaturasi 27 S bo'lib, mashina har tsiklda isitkichdan 6000 J issiqlik miqdori olsa, har tsiklda sovutkichga qancha issiqlik miqdori beradi?

3600J

2400 J

1000 J

3700 J

№433 Fan bobি-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi isitkichdan olgan issiqlik miqdorining 60% ni sovutgichga beradi. Isitgichdan olingan 4000 J issiqlik hisobiga mashina necha J ga teng ish bajaradi?

1600;

3600;

240;

2000;

№434 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi Karno tsikli bo'yicha ishlaydi. Agar mashina bir tsiklda 3000 J ish bajarib, sovutgichga 2000 J issiqlik uzatgan bo'lsa, uning FIK necha foizga teng?

60;

40;

50;

15;

№435 Fan bobি-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik mashinasi olgan issiqlik miqdorining 70 % nisovutkichga beradi. Agar isitkich temperaturasi 600 K ga teng bo'lsa. Isitkich vasovutkich temperaturalarining farqi necha K ga teng bo'ladi?

180;

200;

420;

150;

№436 Fan bobি-4; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik muvozanatida bo'lган ikkita turli gazning holat parametrlaridan qaysilari bir xil?

Harorati;

Bosimi va hajmi;

Bosimi va harorati;

Bosimi;

№437 Fan bobি-8; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi-2;

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining birligini ko'rsating.

Ж/М·с·К;

Вт/М<sup>2</sup>·К;

Ж/М<sup>2</sup>·с;

Вт/М<sup>2</sup>·с;

№438 Fan bobি-5; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-3;

Kelvin shkalasidagi 120 K TSelsiy shkalasidagi qanday haroratga to'g'ri keladi:

-153,15<sup>0</sup>C

-173,15<sup>0</sup>C

173,15<sup>0</sup>C

273,15<sup>0</sup>C

№439 Fan bobি-4; Fan bo'limi-13; Qiyinlik darajasi-2;

Klapeyron-Klauzius tenglamasi: Ushbu tenglamalarning qaysi biri Klapeyron-Klauzius tenglamasini ifodalaydi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{T}{L(V_2 - V_1)}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{(V_2 - V_1)}{LT}$$

$$\frac{dT}{dP} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

№440 Fan bobি-3; Fan bo'limи-10; Qiyinlik darajasi-1;

Kristallarning qotish temperaturasi:

Erish temperaturasiga teng;

Erish temperaturasidan katta;

Erish temperaturasidan kichik;

Erish temperaturasi bilan qonuniy bog'lanmagan;

№441 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Qaynash temperaturasida ( $100^{\circ}\text{S}$  da) massasi 373 gramm bo'lган suv bug'langanda uning entropiyasinecha  $\text{J/K}$  ga ortadi?

2300;

810;

4600;

700;

№442 Fan bobি-3; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-1;

Qanday jarayonda gazga uzatiladigan issiqlik miqdorining hammasi ideal gaz ichki energiyasining o'zgarishaga sarf bo'ladi?

Izoxorik,

Izotermik,

Izobarik,

Adiobatik,

№443 Fan bobি-2; Fan bo'limи3; Qiyinlik darajasi-3;

Qanday temperaturada azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi  $830 \text{ m/s}$  bo'ladi ( $\mu = 28 \frac{\kappa^2}{\kappa \cdot \text{моль}}$ ):

774 K

674 K

574 K

474 K

№444 Fan bobি-1; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-3;

Qattiq jismlarning issiqlik sig'implari: Ushbu formulalarning qaysi biri qattiq jismlar uchun Dyulong-Pti qonunini ifodalaydi:

$$C_v = 3R$$

$$C_v = 8R$$

$$C_p = C_v + R$$

$$C_v = \frac{1}{2}R$$

Nº445 Fan bobi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi ifodalarning qaysi biri kapillyar naychalarda suyuqlikning ko'tarilishi balandligini ifodalaydi:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{Rg\rho}$$

$$h = \frac{2\sigma}{R}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\sigma\rho}$$

$$h = \frac{2g}{R\sigma\rho} \cos \theta$$

Nº446 Fan bobi-3; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi tenglamalardan qaysi biri Mendeleev-Klayperontenglamasi:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$\frac{PV}{T} = const$$

$$C = \frac{iR}{2\mu}$$

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

Nº447 Fan bobi-3; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalardan qaysi birida moddaning kritik holati to'g'ri keltirilgan:

$$V_k = 3b \quad V = \frac{b}{3} \quad V_k = 3b \quad V_k = 3b$$

$$P_k = \frac{a}{27b^2} \quad P_k = \frac{27a}{8b^2} \quad P_k = \frac{8b}{27a} \quad R_k = \frac{8ba}{27R}$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad T_k = \frac{8a}{27b} \quad T_k = \frac{8a}{27R} \quad T_k = \frac{27a}{8b}$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad T_k = \frac{8a}{27b} \quad T_k = \frac{8a}{27R} \quad T_k = \frac{26a}{8b}$$

Nº448 Fan bobi-3; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning kaysi biri suyuqliklarning egri sirti ostidagi bosimni ifodalaydi:

$$P^l = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\sigma = \frac{A}{S}$$

$$P^l = \sigma(r_1 + r_2)$$

$$P^l = \frac{F}{S}$$

№449 Fan bobি-3; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning qaysi biri Vont-Goffqonunini ifodalaydi:

$$\Pi = \nu \frac{RT}{V}$$

$$Pv = const$$

$$Pv^v = const$$

$$P_{01} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} P_{02}$$

№450 Fan bobি-7; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-3;

Quyidagi formulalarning qaysi biri gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientini ifodalaydi:

$$\chi = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g} \rho C_v$$

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{V} \rho$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g}$$

$$\Delta M = -\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g} \frac{dc}{dx} dsdt$$

№451 Fan bobি-8; Fan bo'limи-6; Qiyinlik darajasi-2;

Quyidagi formulalarning qaysi biri gazlarda ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlaydi:

$$\eta = +\frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g} \rho$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g}$$

$$x = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{g} \rho C_v$$

$$f = 6\pi\eta rV$$

№452 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-2;

Universal gaz doimiysi qiymati nimaga teng.

$$* R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{K \cdot kmol}$$

$$K = \frac{R}{N} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

$$N = 6,02 \cdot 10^{26} kmol^{-1}$$

$$E_K = \frac{3R}{2N} T = \frac{3}{2} KT$$

№453 Fan bobি-2; Fan bo'limи-1; Qiyinlik darajasi-2;  
Gazlarning ichki energiyasi qanday ifodalanadi.

$$* U = \frac{i m}{2 \mu} RT$$

$$E_K = \frac{3R}{2N} T = \frac{3}{2} KT$$

$$P = P_0(1 + LT)$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{K \cdot kmol}$$

№454 Fan bobি-4; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-2;  
Issiqlik miqdori deb nimaga aytiladi.

\* Issiqlik almashinish tufayli jismga berilgan energiyaga iissiqlik miqdori deyiladi  
Issiqlikning miqdoriga aytiladi.

Moddaning ichki energiyasiga aytiladi.  
Energiya o'lchoviga aytiladi.

№455 Fan bobি-2; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi-3;

$7^0 S$  temperaturada  $1kg$  azot molekulalarining aylanma harakat kinetik energiyasi nimaga teng?

$$* 8,31 \cdot 10^4 J$$

$$83,1 \cdot 10^6 J$$

$$8,31 \cdot 10^{23} J$$

$$831 \cdot 10^8 J$$

№456 Fan bobি-4; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi-1;

Energiya deb nimaga aytiladi?

\* Jismni ish bajara olish qobiliyatiga

**Issiqlik almashinish tufayli jismga berilgan energiyaga  
Moddaning ichki energiyasiga**

**Temperaturaga**

**№457 Fan bobি-4; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi-3;  
Issiqlik uzatish nima?**

**\*Bir jismdan ikkinchisiga ish bajarmasdan energiya o'tishiga  
Issiqlik almashinish tufayli jismga berilgan energiyaga  
Jismni ish bajara olish qobiliyatiga**

**Temperaturaga**

**№458 Fan bobি-5; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi-1;**

**Bug'lanish nima?**

**\*Moddaning suyuq holatdan gaz holatga o'tishi**

$$2,3 \frac{kg}{kmol}$$

$$23 \frac{kg}{kmol}$$

$$46 \frac{kg}{kmol}$$

**№459 Fan bobি-6; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;  
To'yingan bug' nima?**

**\* O'z suyuqligi bilan dinamik muvozanatda bo'lган bug'  
Suyuqlikka aylangan bug'**

**Suyuq holatdan gaz holatga o'tgan bug'**

**Kondensasiyalan bug'.**

**№460 Fan bobি-5; Fan bo'limi-6; Qiyinlik darajasi-2;  
Qaynash nima?**

**\*O'zgarmas temperaturada suyuqlikning ham sirtida, ham butun hajmida bug'  
hosil bo'lishi uchishi**

Moddaning suyuq holatdan gaz holatga o‘tishi

Bug‘ning suyuqlikka aylanishi

Suyuqlik molekulalarini

№461 Fan bobি-1; Fan bo’limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gaz bosimini 2 marta orttirilsa va hajmini 2 marta kamaytirlsa ichki energiyasi qanday o‘zgaradi?

\* o’zgarmaydi

2 marta ortadi

4 marta kamayadi

2 marta kamayadi

№462 Fan bobি-1; Fan bo’limи-4; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmlari  $V_1 = 2l$  va  $V_2 = 8l$  bo’lgan va kranli nay yordamida bir-biri bilan tutashtirilgan ikki idish turli gazlar bilan mos ravishda  $p_1 = 15kPa$  va  $p_2 = 30kPa$  bosim ostida to’ldirilgan. Kran ochilgach temperatura o‘zgarmasa, idishlarda qanday  $p(kPa)$  bosim qaror topadi?

\*27

19

21

24

№463 Fan bobি-1; Fan bo’limи-4; Qiyinlik darajasi – 3

Massasi  $m=60g$  bo’lgan neon ( $\mu = 20 \frac{g}{mol}$ ) gazi izobarik ravishda  $\Delta T=5K$  ga

isitilganda qanday A ish ( $J$ ) bajariladi?  $R = 8.31 \frac{J}{mol \cdot K}$

\*125

91

24

174

№464 Fan bobি-2; Fan bo’limи-7; Qiyinlik darajasi – 1

Suv havzasi tubidan havo pufakchasi ko’tarilmoqda. Pufakcha ko’tarila borgani sari unga ta’sir qiluvchi Arhimed kuchi qanday o‘zgaradi?

\*kamayadi

O’zgarmaydi

Ortadi

javob suvning sho’r yoki chuchukligiga bog’liq

№465 Fan bobি-1; Fan bo’limи-4; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmi  $V = 1.38m^3$  bo’lgan yopiq idishda temperaturasi  $t = 127^{\circ}C$  va bosimi  $p = 10kPa$  bo’lgan ideal gaz bor. Bu gazning molekulalari soni N nimaga teng?

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

\*  $2,5 \cdot 10^{24}$

$5 \cdot 10^{25}$

$6 \cdot 10^{24}$

$2 \cdot 10^{24}$

№466 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmlari  $V_1 = 12l$  va  $V_2 = 8l$  bo'lgan va kranli nay yordamida bir-biri bilan tutashtirilgan ikki idish turli gazlar bilan mos ravishda  $p_1 = 15kPa$  va  $p_2 = 30kPa$  bosim ostida to'ldirilgan. Kran ochilgach temperatura o'zgarmasa, idishlarda qanday  $p(kPa)$  bosim qaror topadi?

\*21

19

27

24

№467 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 3

Massasi  $m=40g$  bo'lgan geliy ( $\mu = 4 \frac{g}{mol}$ ) gazi izobarik ravishda  $\Delta T=5K$  ga isitilganda qanday A ish (J) bajariladi?  $R = 8.31 \frac{J}{mol \cdot K}$

\*415

124

224

225

№468 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 1

Agar ideal gaz tez siqilsa uning temperaturasi ortadi bu nima bilan bog'liq?

- 1) Bajarilgan mexanik ish gaz molekulalarining kinetik energiyasini ortishiga sarflanadi.
- 2) Molekulalarning to'qnashishi chastotasini ortishi ajralayotgan energiyasini ortishiga olib keladi.
- 3) Molekulalarning gravitatsion tortishish enrgiyasi kinetik energiyaga o'tadi, chunki molekulalar bir biriga yaqinlashadi.

\*1

1,2

1,3

3

№469 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 1

Normal sharoitda hajmi  $1l$  bo'lgan havo molekulalar sonini aniqlang.

\*  $2,6 \cdot 10^{22}$

$6 \cdot 10^{23}$

$6 \cdot 10^{26}$

$2 \cdot 10^{20}$

№470 Fan bobি-1; Fan bo'limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

$2mol$  gaz  $500K$  temperaturada  $100kPa$  bosimga ega uning hajmi nimaga teng.

\*0.0831

8.31

831

16.62

№471 Fan bobি-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 2

Bosimi  $IMPa$  bo'lgan ideal gaz izobarik ravishda  $1l$  dan  $10l$  hajmgacha kengaytirildi. Bu jarayonda bajarilgan ishni toping

$*9 \cdot 10^3$

$10^4$

$4.5 \cdot 10^3$

$10^3$

№472 Fan bobি-2; Fan bo'limi-8; Qiyinlik darajasi – 2

Jism suvga solinganda uning yarmi suvga botib turadi , agar u noma'lum suyuqlikga solinsa  $\frac{1}{4}$  qismi botib turadi. Shu suyuqlikni zichligini aniqlang

$\left( \frac{g}{sm^3} \right)$ .

$*2$

$4$

$0.5$

$8$

№473 Fan bobি-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 1

Qanday jarayonda gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi?

\*izotermik

Izoxorik

Adiabatic

Izobarik

№474 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gazning izotermik kengayishida uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

\*O'zgarmaydi

Kamayadi

Ortadi

Ichki energiya ixtiyoriy bo'lishn mumkin.

№475 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Gazlarda izotermik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni formulasini aniqlang.

\*  $Q = A$

$\Delta U = A$

$Q = \Delta U$

$Q = Lm$

№476 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz izotermik kengayganda,  $30J$  ish bajardi. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan ( $J$ )?

\*30  
40  
50  
100

№477 Fan bobi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Siklda issiqlik mashinasasi  $21\text{kJ}$  ish bajarib, sovutkichga  $29\text{kJ}$  issiqlik miqdorini beradi. Mashinaning foydali ish koeffisientini aniqlang.

\* 30%  
40%  
42%  
52%

№478 Fan bobi-2; Fan bo'limi-5; Qiyinlik darajasi – 3

Foydali ish koeffisienti  $\eta$  bo'lgan issiqlik mashinasasi isitkichdan  $Q$  issiqlik miqdori olganda, qanday ish bajaradi?

\*  $\eta \cdot Q$   
 $(1 + \eta) \cdot Q$   
 $(1 - \eta) \cdot Q$   
$$\frac{Q}{\eta}$$

№479 Fan bobi-3; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 3

Isitkichning harorati  $477^\circ\text{C}$ , sovutkichniki  $27^\circ\text{C}$  bo'lgan issiqlik mashinasining maksimal FIKni hisoblang (%).

\*60  
30  
40  
20

№480 Fan bobi-1; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi – 2

Gaz bosimi deb nimaga aytildi?

\* Gazlarni tashkil etuvchi atom va molekulalarning idish devoriga beradigan bosimi  
Gazni idishdan siqib siqaruvchi kuch  
Jism issiqlik muvozanati holatini xarakterlovchi kattalik  
Hajm ortishi bilan ortadigan kattalik.

№481 Fan bobi-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Gaz hajmining ortishi bir xil bo'lganda, qaysi jarayonda u ko'proq ish bajarshini aniqlang.

\*Izobarik  
Izotermik  
Adiabatik  
Izoxorik

№482 Fan bobi-6; Fan bo'limi-1-3; Qiyinlik darajasi – 1

Biror  $T$  temperaturadagi  $1\text{mol}$  bir atomli gazning temperatursini doimiy bosimda 2 marta oshirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo'ladi?

\* $5RT$

$1.5RT$

$2RT$

$2.5RT$

№483 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 1

Quyidagi jarayonlarning qaysi birida bajarilgan ish nolga teng?

\*Izoxorik

Izotermik

Adiabatik

Izobarik

№484 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 3

$4.4\text{kg}$  massali geliyni izoxorik ravishda  $400^{\circ}\text{C}$  ga qizdirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak ( $\text{MJ}$ )?

\*4

1.25

2.5

4.25

№485 Fan bobি-1; Fan bo'limи-4; Qiyinlik darajasi – 2

Termodinamikaning birinchi qonuni adiabatik jarayon uchun qanday ko'rinishda yoziladi? Javoblardan to'g'risini tanlang.

$$*\Delta U + A = 0$$

$$Q = \Delta U$$

$$Q = A$$

$$Q = \Delta U + A$$

№486 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi – 2

FIK 40% bo'lgan issiqlik mashinasи bitta siklda  $34\text{ kJ}$  ish bajaradi. Mashina bir siklda sovutkichga qancha issiqlik miqdori berishini aniqlang ( $\text{kJ}$ )?

\*85

42

51

63

№487 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi – 3

Agar issiqlik dvigateli isitkichdan olgan issiqlik miqdorining uchdan ikki qismini sovutkichga bersa, dvigatelning FIK ni topping (%).

\*33

54

67

60

№488 Fan bobি-2; Fan bo'limи-5; Qiyinlik darajasi – 3

Karno sikllida ishlayotgan bug' turbinasiga temperaturasi  $480^{\circ}\text{C}$  bo'lgan bug'

'kirib undan  $30^{\circ}C$  temperaturada chiqsa, turbinaning FIKni aniqlang (%).

\*60

70

30

40

№489 Fan bobি-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gaz 2 marta kengayib, temperaturasi  $27^{\circ}C$  bo'lib qolsa, gazning dastlabki temperaturasi qanday bo'lgan? Bunda bosim o'zgarmagan.

\* $-123^{\circ}C$

$123^{\circ}C$

$-50^{\circ}C$

$50^{\circ}C$

№490 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 1

Ideal gaz isiganda uning  $p$  bosimi o'zgarmay,  $V$  hajmi  $1,3$  martta ortsa, u qanday  $A$  ish bajaradi?

\*  $A = 0.3pV$

$A = 3pV$

$A = 0.7pV$

$A = 1.3pV$

№491 Fan bobি-1; Fan bo'limi-4; Qiyinlik darajasi – 2

Hajmi  $1.38m^3$  bo'lgan yopiq idishda temperaturasi  $t = 227^{\circ}C$  va bosimi  $p=10kPa$  bo'lgan ideal gaz bor. Bu gazning molekulalari soni  $N$  nimaga teng?

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

\*  $2 \cdot 10^{24}$

$4.5 \cdot 10^{25}$

$4 \cdot 10^{24}$

$5 \cdot 10^{25}$

№492 Fan bobি-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Agar idishga bir xil kontsentratsiyali geliy va vodorod qamalgan bo'lsa, geliy va vodorod gazlarining parsial bosimlari qanday nisbatda bo'ladi?

\*1

2

4

0.5

№493 Fan bobি-1; Fan bo'limi-3; Qiyinlik darajasi – 3

Ideal gazning haroratini 4 marta kamaytirsak, molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi qanday o'zgaradi?

\*4marta kamayadi

2marta kamayadi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№494 Fan bobি-1; Fan bo'limi-2; Qiyinlik darajasi – 2

Idishda ideal gaz bor. Agar idishning bosimi va hajmi 2 marta orttirilsa, molekulalarning o‘rtacha kvadratik tezliklari qanday o‘zgaradi?

\*2 marta ortadi

o‘zgarmaydi

2 marta oshadi

4 marta oshadi

№495 Fan bobি-1; Fan bo’limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

Ideal gaz  $P\sqrt[3]{T} = \text{const}$  qonuniyat bo‘yicha o‘zgarmoqda. Agar gazning bosimi 2 marta kamaysa, uning hajmi qanday o‘zgaradi?

\*16 marta ortadi

8 marta ortadi

16 marta kamayadi

8 marta kamayadi

№496 Fan bobি-1; Fan bo’limи-1; Qiyinlik darajasi – 2

Umuman siljimaydigan porshen ostida  $3\text{mol}$  ideal gaz bor. Agar gazning ichki energiyasi  $600\text{J}$  ga ortsа, u qancha ish bajaradi?

\* $0J$

$1000J$

$400J$

$600J$

№497 Fan bobি-1; Fan bo’limи-2; Qiyinlik darajasi – 2

$2\text{kg}$  po‘latning harorati  $t = 50^\circ\text{C}$  ga kamaysa, uning ichki energiyasi necha  $\text{J}$  ga kamayadi?  $c = 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

\*  $46kJ$

$460J$

$4600J$

$4.6kJ$

№498 Fan bobি-3; Fan bo’limи-1; Qiyinlik darajasi – 1

$t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada  $5\text{m}^3$  havoda  $50\text{ g}$  suv bug‘i bo‘lsa, havoning nisbiy namligi qancha (%)?  $t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada to‘yingan suv bug‘ining zichligi

$17.3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$

\*  $58\%$

$60\%$

$70\%$

$59.7\%$

№499 Fan bobি-4; Fan bo’limи-2; Qiyinlik darajasi – 3

Atom va molekulalarning o‘lchamlari

\*  $10^{-8}\text{cm}$

$10^{-10}\text{cm}$

$10^{-11}\text{m}$

$10^{-2}\text{mkm}$

## №500 Fan bobি-5; Fan bo'limi-1; Qiyinlik darajasi –2

Kritik temperatura deb nimaga aytildi?

\*Suyuqlik bilan uning to'yingan bug'i orasidagi farq yo'qoladigshapn temperaturaga

O'z suyuqligi bilan dinamik muvozanatda bo'lish temperaturasiga

Bug'lanish boshlanadigan temperatura

Suyuqlik qaynaydigan temperatura

### 1 - bob. Statistik usul

1. Ehtimolliklar nazariyasidan elementar ma'lumotlar. Tasodifiy voqealar va hodisalar. Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyasining asosiy tushunchalari. Ehtimolliklar ustida amallar.
2. Taqsimot funksiyasi. Gauss taqsimoti. Tizimning makroskopik va mikroskopik holati. Binomal taqsimot. Puasson taqsimoti.

### 2 - bob. Ideal gazlarning kinetik nazariysi

1. Issiqlik va harorat. Mutloq haroratni aniqlash.
2. Ideal gaz. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.
3. Ideal gazning holat tenglamasi. Ideal gaz qonunlari. Barometrik formula. Bolsman taqsimoti.
4. Molekulalarning tezlik komponentalari bo'yicha taqsimoti. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti-Maksvell taqsimoti. Mumtoz fizikaning qo'llanish chegaralari.
5. Maksvell-Bolsman taqsimoti. Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi to'g'risidagi tushuncha.

### 3 - bob. Ko'chish jarayonlarining elementar kinetik nazariysi

1. Molekulyar harakatlar va ko'chish hodisalari. Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li.
2. Diffuziya va modda ko'chishi. Qovushoqlik va impuls ko'chishi.

### 4 - bob. Issiqlikning kinetik nazariysi

1. Ideal gazning ichki energiyasi. Ichki energiyani erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimoti qonuni.
2. Ish va issiqlik miqdori. Termodinamikaning I-qonuni. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi.
3. Ideal gazlar issiqlik sig'imining tajriba ma'lumotlaridan chetlashishi. Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi to'g'risida tushuncha. Politropik jarayon.

### 5 - bob. Termodinamika elementlari

1. Issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish. siklik jarayon va sikl ishi. Termodinamikaning II-qonuni.
2. Issiqlik mashina-lari va ularning foydali ish koeffisienti (F.I.K.). Karno sikli va uning F.I.K. Karno teoremlari.
3. Termodinamikaning II-qonunining turli ta`riflari. Entropiya. Klauzius tengsizligi. Entropiya va ehtimollik. Entropiya va tartibsizlik.

6 - bob. Real gazlar

1. Molekulalararo o'zaro ta`sir kuchlari. Eksperimental izotermalar. Real gazning holat tenglamasi. Van der Vaals izotermalari.
2. Kritik holat. Gazning bo'shliqqa kengayishi.
3. Joul-Tomson samarsi.

7-bob. Suyuqliklarning xossalari

1. Sirt taranglik. Ikki muhit chegarasidagi muvozanat shartlari. Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi kuchlar. Kapillyar hodisalar.
2. Suyuq eritmalar. Ideal eritmalar.
3. Osmotik bosim va uning yuzaga kelish mexanizmi. Kimyoviy potensial.

8-bob. Qattiq jism

1. Kristall panjara. Kristallografik koordinata tizimi.
2. Qattiq jismlarning issiqlik xossalari.
3. I- va II- tur fazaviy o'tishlar.

