

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

*B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov*

*Molekulyar fizika va  
termodinamika asoslari*

*Toshkent – 2007*

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

***B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov***

***Molekulyar fizika va  
termodinamika asoslari***

***Bakalavriatning 5140200 "Fizika-astronomiya" ta'lim yo'nalishi  
talabalari uchun darslik***

***Toshkent-2007***

***Mualliflar:***            ***B.F.Izbosarov***  
                                      ***I.R.Kamolov***

***Taqrizchilar:***        ***f.-m.f.d, prof. P.X.Musayev,***  
                                      ***p.f.n, dots. T.Rizayev,***  
                                      ***f.-m.f.n. A.A.Axmedov,***  
                                      ***f.-m.f.n. E.Xudoyberdiyev.***

Mazkur darslikda “Molekulyar fizika” fani bo’yicha to’liq nazariy ma’lumotlar berilgan bo’lib, unda mavzularga oid masalalar yechish namunalari, ko’plab testlar keltirilgan.

Darslik Oliy pedagogika o’quv yurtlarining “Fizika-astronomiya” ta’lim yo’nalishi talabalari uchun mo’ljallangan bo’lib, undan texnik va tabiiy ta’lim yo’nalishlari talabalari ham foydalanishlari mumkin.

## MUNDARIJA

Soʻz boshi.....	9
-----------------	---

### I. BOʻLIM MOLEKULYAR-KINETIK NAZARIYA ASOSLARI

Molekulyar fizika predmeti. Molekulyar-kinetik nazariya asoslari.....	10
Harorat.....	12
Haroratni oʻlchash usullari.....	13
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy holatlari.....	15
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi.....	16
Asosiy gaz qonunlarini keltirib chiqarish.....	19
Ideal gazlarning holat tenglamasi. Gaz doimiyligi.....	21
Molekulyar kinetik nazariyaning tajribaviy asoslari.....	23
Molekulalarning tezliklar boʻyicha (Maksvell) taqsimoti.....	26
Bolsman doimiysi va bitta molekulaning kinetik energiyasi.....	28
Ehtimollik haqida tushuncha.....	29
Taqsimot funksiyasi.....	31
Maksvellning tezliklar taqsimoti qonunini tajribada tekshirish.....	33
Molekulalarning oʻrtacha toʻqnashishlari soni va oʻrtacha erkin yugurish yoʻli.....	36
Bolsman taqsimoti. Barometrik formula.....	38
Avogadro sonini aniqlash.....	42
Fluktuatsiya.....	44
Masalalar yechish namunalari.....	46

### II. BOʻLIM TERMODINAMIKANING I QONUNI

Termodinamikaning asosiy tushunchalari.....	65
Issiqlik va ish orasidagi bogʻlanish. Issiqlikning mexanik ekvivalenti.....	66
Termodinamikaning birinchi qonuni.....	68
Ideal gazning ichki energiyasi.....	69
Ideal gazning issiqlik sigʻimi. Mayer tenglamasi.....	71
Termodinamika birinchi qonunining izojarayonlarga tatbiqi. Izojarayonlarda gazning bajargan ishi.....	72

Issiqlik sig'iminin klassik nazariyasi.....	75
Issiqlik sig'iminin kvant nazariyasi.....	78
Qattiq jismlarning issiqlik sig'imi.....	80
Qaytar va qaytmas jarayonlar. Aylanma jarayonlar (sikllar).....	82
Adiabatik jarayon. Puasson tenglamasi.....	85
Politropik jarayon.....	88
Gazlarda tovushning tezligi.....	91
Masalalar yechish namunalari.....	94

### III. BO'LIM

#### TERMODINAMIKA II QONUNI. ENTROPIYA

Termodinamika II qonunining har xil ta'riflari va ularning ekvivalentligi.....	105
Karno teoremasi.....	107
Karno-Klauzius teoremasi.....	108
Real issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti.....	111
Absolyut harorat shkalasi.....	111
Entropiya.....	113
Ikkinchi bosh qonunning asosiy tenglamasi.....	114
Jarayonlarning yo'nalishi va muvozanatning shartlari.....	115
Turli jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi.....	117
Gibbs energiyasi. Gelmgols energiyasi (izotermik potentsiallar).....	121
Entalpiya.....	124
Termodinamik potentsiallar.....	125
Termodinamik ehtimollik va entropiya. Termodinamika ikkinchi qonunining statistik xarakterda ekanligi.....	126
Koinotning "issiqlik o'limi" haqidagi idealistik xulosaning tanqidi.....	131
Masalalar yechish namunalari.....	135

### IV. BO'LIM

#### GAZLARDA KO'CHIRILISH HODISASI

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi.....	139
Gazlarda ichki ishqalanish (qovushqoqlik).....	142
Gazlarda diffuziya.....	144
Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik, diffuziya va qovushqoqlik koeffitsiyentlari orasidagi bog'lanish.....	148
Ko'chirilish tenglamasi.....	149

Termodiffuziya.....	150
Vakuum to'g'risida tushuncha.....	151
Masalalar yechish namunalari.....	155

## V. BO'LIM ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK

Issiqlik o'tkazuvchanlik.....	160
Haroratni muvozanatlash.....	165
Haroratning davriy rejimi (tartibi).....	168
Nyutonning sovish qonuni.....	169
Konveksiya. Konvektiv issiqlik almashinuv tenglamasi.....	170
Masalalar yechish namunalari.....	174

## VI. BO'LIM REAL GAZLAR

Real gazlarning ideal gaz qonunlariga bo'ysunmasligi.....	177
Molekulalararo kuchlar.....	178
Van-der-Vaals tenglamasi.....	180
Gaz hajmiga tuzatmani hisoblash.....	181
Real gazlar uchun nazariy va eksperimental izotermalar.....	183
Kritik holat. Kritik parametrlarni hisoblash.....	186
Real gazlarning ichki energiyasi.....	189
Real gazlarning kengayishi.....	191
Joul-Tomson hodisasi.....	192
Past haroratlarni olish.....	196
Suyuq geliy xossalari. O'ta oquvchanlik.....	197
Masalalar yechish namunalari.....	200

## VII. BO'LIM SUYUQLIKLAR

Suyuqliklarning tuzilishi.....	203
Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi.....	206
Suyuqliklarning issiqlik sig'imi.....	207
Sirt qatlam. Sirt taranglik.....	207

Suyuqlik sirt qatlami energiyasi.....	209
Sirt tarangligining haroratga bog'liqligi.....	211
Ho'lovchi va ho'llamovchi suyuqliklar.....	212
Laplas formulasi. Kapillyarlik.....	214
Bug'lanish. Kondensatsiya. To'yingan bug'. Namlik.....	218
Suyuqliklarning qaynashi.....	221
Shiller va Tomson paradoksi.....	222
Fazoviy o'tishlar.....	223
Suyuqlik va bug' muvozanati diagrammasi.....	225
Erish va qotish. Uchlanma nuqta.....	227
Fazoviy o'tishlarda entropiyaning o'zgarishi.....	230
Klapeyron-Klauzius tenglamasi.....	231
Van-der-Vaals tenglamasidagi doimiy va kritik parametrlarni aniqlash..	232
Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi.....	234
II-tur fazoviy o'tishlar.....	235
Nernstning issiqlik qonuni.....	237
Masalalar yechish namunalari.....	239

## VIII. BO'LIM QATTIQ JISMLAR

Kristall va amorf jismlar.....	244
Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi va issiqlik o'tkazuvchanligi..	248
Bir atomli qattiq jismlar issiqlik sig'imining klassik nazariyasi.....	250
Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi.....	253
Masalalar yechish namunalari.....	259

## IX. BO'LIM ERITMA VA QOTISHMALAR

Eritmalar. Raul qonuni.....	263
Disperslik to'g'risida tushuncha. Kolloidlar.....	264
Eritma turlari. Termodinamik faollik.....	266
Osmotik bosim.....	268
Eritmalarning muzlash haroratlari.....	270
Absorbsiya.....	272
Adsorbsiya.....	274
Qotishmalar.....	276

Talabalar “Mustaqil ta’limi” ni shakllantirish va tashkil etish bo’yicha taklif va tavsiyalar.....	280
TESTLAR.....	284
ILOVALAR.....	329
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	340



## ***SO'Z BOSHI***

E'tiboringizga havola etilayotgan ushbu darslik "Ta'lim to'g'risida"gi Qonun, "Kadrlash tayyorlash milliy dasturi" da ko'zda tutilgan vazifalar asosida ta'lim sohasida amalga oshirilayotgan islohotlarni e'tiborga olib, hamda «Molekulyar fizika» fanidan tasdiqlangan o'quv dasturi, "Davlat ta'lim standartlari" va O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2006-yil 30-noyabrdagi "Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi muassasalarini zamonaviy o'quv adabiyotlar bilan ta'minlash to'g'risida" gi 5/3 Qarori talablari asosida yozildi.

Darslikda o'quv materiallarining ketma-ketligi, hajmi, bayon etilishi, nazariy jihatdan chuqurligi va amaliy tomondan talabalar tanlagan ixtisosliklari doirasida egallashlari lozim bo'lgan bilim va ko'nikmalar hisobga olingan.

Talabalarning tushunishlari, o'zlashtirishlari qulay bo'lishi va darslikning samaradorligini oshirish maqsadida har bir bo'limdan so'ng mavzularga oid masalalar yechish namunalari, jadvallar, ko'plab tasviriy vositalar (sxemalar, rasmlar) va o'z-o'zini nazorat qilish uchun testlarga keng o'rin berilgan. Mavzularni yoritishda ilg'or pedagogik texnologiya elementlaridan foydalanilgan va darslik yakunida talabalarning mustaqil ta'limini shakllantirish, tashkil etish uchun namuna berilgan.

Darslik to'qqiz bo'limdan iborat bo'lib, ayni paytgacha mavjud bo'lgan va turdosh darsliklardan farqli ravishda fanlararo va Oliy ta'limning umumiy o'rta, o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limlari orasidagi bog'lanishga ham yetarlicha e'tibor qaratilgan, yangi mavzular, ilovalar bilan boyitilgan. Shuningdek, darslikda "Eritmalar va qotishmalar" bo'limining kiritilishi o'quv rejasida "Kimyo" fanini o'rganish ko'zda tutilmagan ta'lim yo'nalishi talabalari uchun ham keng foydalanishga imkoniyat yaratadi.

Ushbu darslik mualliflarning ko'p yillar davomida Oliy o'quv yurtlaridagi ilmiy-pedagogik faoliyatlarida fizika fanini o'qitishda to'plagan tajribalari asosida yozilgan.

Darslik asosan, Oliy ta'limning "Fizika", "Fizika-astronomiya" ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, texnika va tabiiy fanlar ta'lim yo'nalishi talabalari uchun ham muhimdir.

***Mualliflar***

## I. BO'LIM

### MOLEKULYAR-KINETIK NAZARIYA ASOSLARI

#### *Molekulyar fizika predmeti. Molekulyar-kinetik nazariya asoslari*

Biz hozir moddalar har doim tartibsiz issiqlik harakatida bo'luvchi mayda-mayda zarrachalardan iboratligini bilamiz. Moddalar tuzilishining shunday nazariyasi *molekulyar-kinetik nazariya* deb ataladi. Shunday tushunchlarga asoslanib, moddalarning tuzilishi va xossalarini o'rganuvchi fizikaning bo'limi *molekulyar fizika* deyiladi. Hozirgi aniq hisoblashlar har bir santimetr kub havoda  $2,77 \cdot 10^{19}$  ta molekulalar borligini va ular har bir sekundda  $10^{10}$  marta to'qnashishini ko'rsatadi. Bunda u ayrim olingan molekulaning harakatini tavsiflovchi o'rtacha kattaliklar bilan ish ko'riladi. Bu usul *statistik usul* deyiladi. Statistik usulda ehtimollik nazariyasiga asoslangan matematik hisoblashlar keng qo'llaniladi.

Ayrim hollarda jismlarning xossalarini ularning tuzilishini e'tiborga olmasdan ham tekshirish mumkin. Bunday usul *termodinamik usul* deb yuritiladi. Bu usul bilan makrojismlarning energetik xarakteristikalari bilan boshqa kattaliklar orasidagi bog'lanish o'rganiladi. Ko'p tajriba natijalarini umumlashtirish tufayli termodinamika qonunlari yuzaga kelgan. Molekulyar fizikaga oid izlanishlarda ikkala usul ham keng qo'llaniladi va bir-birini to'ldiradi. Molekulyar kinetik nazariyani rivojlanishiga ko'plab ulug' olimlar hissa qo'shganlar. Masalan, Joul, Klazius, Maksvell, Bolsman, Lomshmidt, Avogadro, Lomonosov va boshqalar. Qadimgi zamon filosoflari ham issiqlik jism tarkibidagi zarralar ichki harakatiniing bir turi ekanligini tasdiqlaganlar. Rus olimi M.V.Lomonosov issiqlikni modda zarralarining aylanma harakati deb qaragan. O'zining nazariyasiga asoslanib Lomonosov erish, bug'lanish va issiqlik o'tkazuvchanlik hodisalarini umumiy jihatlarini to'g'ri talqin qilib bergan. U modda zarralarining harakati to'xtaydigan holatda "sovuqning eng past darajasi" borligini xulosa qilgan.

Biroq molekulyar kinetik nazariya yaratishni ko'p sondagi zarralar bilan ish ko'rilganligi sababli qiyin kechdi va XX asr boshiga kelibgina uzil-kesil g'alaba qildi. Endi molekulyar kinetik nazariya (MKN) ning asosiy xulosalarini keltiraylik:

1. Har qanday modda (gaz, suyuq, qattiq jism) mayday zarrachalar molekulalardan iborat.
2. Molekulalar xaotik issiqlik harakatida bo'ladi.

3. Molekulalar orasida o'zaro ta'sir kuch (itarishi yoki tortishish) mavjud.

**Atom** – muayyan kimyoviy elementning barcha xususiyatlarini o'zida saqlagan mayda zarracha.

**Molekula** – muayyan moddaning barcha kimyoviy xossalriga ega bo'lgan va mustaqil ravishda mavjud bo'la oladigan mayda zarradir.

Molekula bir xil yoki har xil atomlardan tashkil topishi mumkin. Molekulaning xossasi uning tuzilishiga, qanday atomlardan tashkil topganligiga, atomlarning soniga, atomlarning fazoviy joylashishiga, atomlar orasidagi tortishish kuchining tabiatiga bog'liq bo'ladi.

Moddaning molekula va atomlarining massalarini xalqaro kelishuvga muvofiq uglerod massasining  $\frac{1}{12}$  qismi bilan solishtirma birliklarda o'lchanadi.

1. Nisbiy atom massasini  $\frac{1}{12}$  qismi massaning atom birligi (m.a.b.) qilib olinadi va  $1,66 \cdot 10^{-27}$  kg teng. Kimyoviy elementning **nisbiy atom massasi** deb, atom massasini uglerod atomining massasini  $\frac{1}{12}$  qismiga nisbatiga aytiladi.

$$A_r = \frac{m_{0m}}{\frac{1}{12} \cdot m_0^c}$$

2. Moddadagi molekulalar soni ko'pligi sababli ularni nisbiy sonini ko'rsatish odat bo'lgan.

3. Ixtiyoriy jismdagi atomlar sonini ( $N$ ) 0,012 kg ugleroddagi atomlar soniga ( $N_A$ ) nisbati modda miqdori deyiladi va mol bilan ifodalaniladi.

$$N_r = \frac{N}{N_A} \quad N = \nu N_A \quad \nu = \frac{m}{M}$$

Demak, 1 mol moddaning shunday miqdoriki, undagi atomlar soni 0,012 kg ugleroddagi atomlar soniga teng va  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  1/mol bu Avogadro soni deb yuritiladi. 1 mol miqdorida olingan moddaning massasi molyar massa deyiladi.

$$Mr = m_0 N_A$$

$m$  – 1 molekula (yoki atom) ni massasi ixtiyoriy miqdordagi moddaning  $m$  massasi  $m = m_0 N = m_0 \nu N_A = \nu M$ .

Demak, nisbiy modda miqdori:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

dan topilishi mumkin.

## *Harorat*

**Harorat** molekulyar fizikada asosiy tushunchalardan biridir. Harorat murakkab tushuncha bo`lib, uni tushuntirishda bir qator eksperimental aniqliklarni bilish zarur. Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasidan

$$P = \frac{2}{3} n \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Ko`rinadiki, ideal gazning bosimi gaz zichligiga ( $\rho = \frac{n}{V}$ ) mutanosib.

Agar  $V=const$  bo`lsa, unda gaz bosimi faqat molekulalarning o`rtacha kinetik energiyasiga bog`liq bo`ladi. Tajribalar shuni ko`rsatadiki, o`zgarmas hajmda gazning bosimi faqat haroratga bog`liq bo`ladi. Har bir gaz esa boshqa jismlar singari o`zining harorati bilan tavsiflanadi. Demak, harorat va molekulalar o`rtacha kinetik energiyasi orasida bog`lanish mavjud. Bu bog`lanish quyidagicha ta`riflanadi: **harorat – molekulalar xaotik harakati o`rtacha energiyasining o`lchovidir**. Hayot tajribasi shuni ko`rsatadiki, harorat bizga issiqni sovuqdan va aksincha ajratib turadi yoki boshqacha aytganda, harorat jismning isitilganlik darajasini belgilovchi termodinamik kattalikdir. Yuqoriroq haroratga ega jismlar qizigan bo`ladi. Haroratni sezgi organlarimiz orqali ham sezish mumkin: 3 ta idish olib, ularning biriga issiq suv, ikkinchisiga sovuq suv va uchinchisiga ular aralashmasini solamiz. Keyin bir qo`limizni issiq, ikkinchi qo`limizni sovuq suvga solamiz va shunda sezgi organlarimiz orqali birinchi issiq, ikkinchisi sovuq deb aytamiz. Agar qo`limizni suvga uzoqroq muddat saqlab tursak, u holda ana shunday sezgi yo`qoladi va sezgi organlarimiz bitta yo issiq, yo sovuq fikr aytadi, ya`ni issiqlik muvozanati yuzaga kelsa, bir xil fikr aytamiz.

Mana shu tajriba ko`rsatadiki, harorat – issiqlik muvozanati holatini tavsiflaydi. Demak, issiqlik harorati yuqoriroq jismdan harorati pastroq jismga o`z-o`zicha o`ta oladi. Issiqlik muvozanati holatida harorat har qanday murakkab sistemaning barcha qismlarida tenglashadi. Boshqacha qilib aytganda, issiqlik muvozanati holatida jismlar harorati bir xil bo`ladi.

Gey-Lyussak tomonidan tajribada aniqlangan qonunda doimiy hajm ostida ideal gaz harorati  $I^0S$  ga o`zgarganda, uning bosimi boshlang`ich bosimga nisbatan  $\frac{1}{273}$  qismga o`zgaradi. Bundan xulosa shuki,  $-273,16^0S$  da ideal gaz bosimi nolga teng bo`lishi kerak. Bu  $-273,16^0S$  harorat eng past harorat bo`lib, absolyut nol harorat deyiladi.

## *Haroratni o`lchash usullari*

Jism haroratining o`zgarishini o`lchash vazifasini unga bog`liq bo`lgan biror bir hossasining masalan, bosimning, hajmning va boshqalarning o`zgarishini o`lchash bilan bajarish mumkin. Ko`pchilik hollarda haroratni o`lchashda hajmning o`zgarishidan foydalaniladi. Haroratni o`lchovchi termometrlarning ishlash prinsipi ham shunga asoslangan.

Birinchi termometr 1597-yilda italyan olimi Galelio Galiley tomonidan kashf etilgan. Unda termometrik modda, ya`ni suvdan foydalanilgan. Jism haroratini o`lchashda termometr bevosita jismga tekiziladi. Issiqlik muvozanati yuzaga kelganda, termometr berilgan jism haroratini ko`rsatadi.

Turli jismlar isitilganda ular turlicha kengayadi, shuning uchun termometr shkalasi unga solingan termometrik moddaga bog`liq bo`ladi. Termometrlarni darajalashda moddaning erish va qaynash nuqtasidan foydalaniladi.

Amaliy maqsadlar uchun yuz gradusli shkala (bu shkalani 1742-yilda taklif etgan shved astronomi A.Selsiy nomi bilan yuritiladigan Selsiy shkalasi) juda keng foydalaniladi. Bu shkala bo`yicha muz  $0^{\circ}\text{S}$  da eriydi, suv esa  $100^{\circ}\text{S}$  da qaynaydi.

Ba`zi mamlakatlarda (Fransiya) haroratni o`lchashda Reomyur shkalasidan foydalaniladi, unda suvning muzlash va qaynash harorati  $0^{\circ}$  va  $80^{\circ}$  olingan (1730-yil).

Angliya va AQShda Farengeyt shkalasidan foydaniladi, unda muzning erish harorati  $32^{\circ}$  ni, suvning qaynash harorati esa  $212^{\circ}$  ni tashkil qiladi.

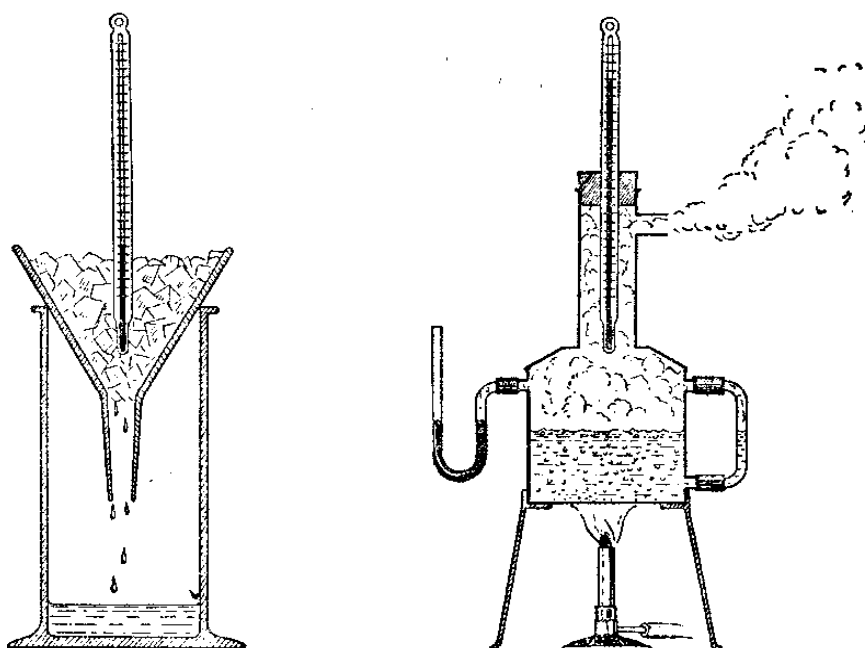
Gradus Farengeytdan gradus Selsiyga va aksincha o`tishda quyidagi formulalardan foydaniladi.

$$C = \frac{5}{9}(F - 32);$$

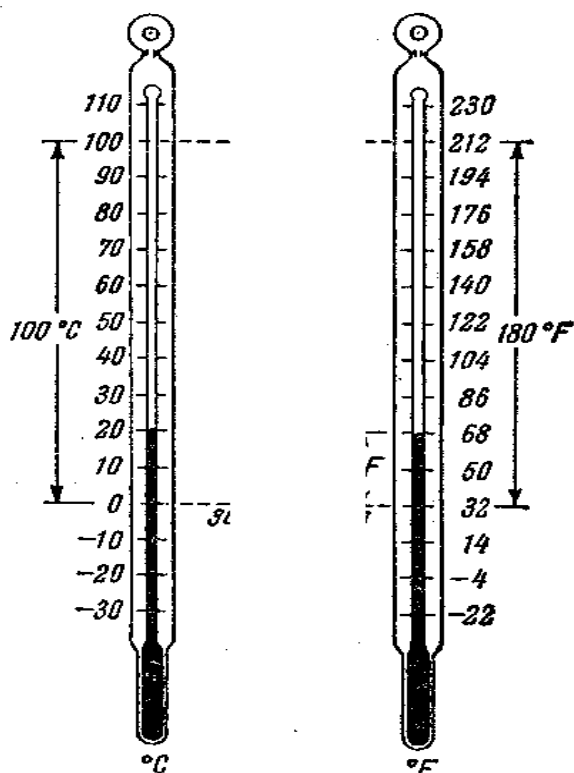
$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

$-39^{\circ}\text{S}$  dan  $+550^{\circ}\text{S}$  gacha bo`lgan haroratni o`lchashda shisha termometrdan foydalaniladi, unda termometrik modda sifatida simobdan foydaniladi.

Atmosfera bosimi ostida simobning qaynash harorati  $+556,58^{\circ}\text{S}$  ga teng. Agar yanada yuqori ( $+750^{\circ}\text{S}$ ) haroratni o`lchashda kapillyardagi simob usti 70 atmosfera bosim ostidagi inert gaz bilan to`ldilishi kerak.



1-rasm. Ko'pchilik termometrik shkalalarda suvning muzlash va qaynash harorati doimiy nuqtalar hisoblaniladi.



2-rasm. Farengeyt va Selsiy shkalalarini solishtirish.

Yanada kengroq harorat diapazoni ( $-200^{\circ}\text{S}$  dan  $1100^{\circ}\text{S}$  gacha) ni o'lchashda platinali termometr dan,  $0^{\circ}\text{S}$  dan  $1700^{\circ}\text{S}$  gacha haroratni o'lchashda platina – platina radiyli termoparadan,  $-200^{\circ}\text{S}$  dan  $1350^{\circ}\text{S}$  gacha haroratni o'lchashda esa xromal-alyuminiyli termoparadan foydalaniladi.

<i>T/r</i>	<i>Haroratlar</i>	<i>T, K</i>	<i>t, °S</i>	<i>T, °F</i>
1	Quyosh fotosferasi	6000	5727	10341
2	Suvning qaynashi	373	100	212
3	Insonning tanasi	310	37	98
4	Muzning erishi	273	0	32
5	Simobning erishi	234	-39	-38
6	Simobning qaynashi	829	556	1040
7	Alyuminiyning erishi	933	660	1220
8	Geliyning qaynashi	4,2	-268,8	-452

### *Gazlar kinetik nazariyasining asosiy holatlari*

Gazlarning molekulyar kinetik nazariyasini tajribada olingan natijalar va bir necha tasavvurlar asosida yaratish mumkin.

Bunda, avvalo ideal gazni, ya'ni molekulari orasidagi o'zaro ta'sir kuchni va molekular o'lchamlari e'tiborga olinmaydigan gazni qaraymiz. Bundan tashqari, gaz molekularining o'zaro hamda gaz solingan idish devorlari bilan to'qnashishlarini ideal elastik sharning to'qnashish qonuni asosida yuz beradi, deb olamiz.

Har bir molekula idish devorlari bilan to'qnashib, idish devorlariga impuls beradi va undan qaytib, o'zining harakat miqdori (impuls) ni o'zgartiradi.

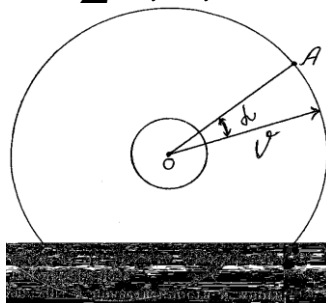
Nyutonning ikkinchi qonuni bo'yicha,

$$f \cdot \tau = m \cdot U \cdot \cos \alpha - (-m \cdot U \cdot \cos \alpha) = 2 \cdot m \cdot U \cdot \cos \alpha$$

bu yerda  $U$  – molekular tezligi,  $\alpha$  – molekulaning idish devoriga to'qnashish nuqtasiga o'tkazilgan normal bilan molekula harakat yo'nalishi orasidagi burchak (3-rasm),  $\tau$  – to'qnashish vaqti,  $f$  – idish va molekulaning o'zaro ta'sir kuchi.

Agar birlik vaqt ichida idishning birlik yuzasiga kelib urilgan barcha molekular impulslari yig'indisini olsak, u holda gazning idish devoriga beradigan bosimi

$$P = 2 \sum m_i \cdot U_i \cdot \cos \alpha .$$



3-rasm.

Molekulalarning o'zaro to'qnashishi molekulalar tezliklarining qayta taqsimlanishiga olib keladi, lekin idish devoriga beriladigan gaz bosimi o'zgarmaydi.

***Molekulyar kinetik nazariyaning birinchi asosiy holati-bu molekulalarning to'liq tartibsiz harakatidir.*** Gazda molekulalarning harakati barcha yo'nalishlarda teng ehtimollidir. Biror bir yo'nalish yo'qki, uhdada boshqa yo'nalishga nisbatan ko'p sonli yoki yuqori tezlikli molekulalar harakatlansa. Uncha katta bo'lmagan yopiq idishda gazning bosimi barcha devorlarga bir xil ta'sir etadi. Suyuqliklarda molekulyar harakatning tartibsizligi Broun harakati bilan isbotlanadi.

***Molekulyar kinetik nazariyaning ikkinchi asosiy holati-bu molekulalar o'rtacha tezligining kvadrat ildiz ostidagi harorat ( $v \sim \sqrt{T}$ )ga mutanosibliyidir.*** Bu holar Shtern va Eldridj tajribalari natijalaridan kelib chiqadi.

***Molekulyar kinetik nazariyaning uchinchi asosiy holatini tajribalardan olamiz: bir xil harorat ostida bo'lgan har xil gaz molekulalarining o'rtacha kinetik energiyalari o'zaro teng, ya'ni***

$$\frac{m_1 v_1}{2} = \frac{m_2 v_2}{2} \quad (1)$$

bu yerda  $m_1$  va  $m_2$  – molekulalar massasi,  $v_1$  va  $v_2$  – ularning o'rtacha kvadratik tezliklari. Bu kattaliklarni Shtern tajribasida hamda boshqa usullarda olingan o'rtacha tezlik qiymatlaridan topish mumkin.

Tenglik (1) barcha gazlar uchun o'rinli. Masalan, vodorod molekulasi o'rtacha kvadratik tezligi kislorod molekulasidan 4 marta katta, ammo vodorod molekulasi massasi kislorod molekulasi massasidan 16 marta kichik, ya'ni (1) tenglik o'rinli.

Gaz molekulalari o'rtacha kinetik energiyalari tengligidan quyidagi kelib chiqadi; bir xil haroratga ega bo'lgan turli gazlar aralashtirilganda, bir gaz molekulalarining ikkinchi gaz molekulalariga energiya uzatishi, ikkinchi gaz molekulalarining birinchi gaz molekulalariga energiya uzatishidan yuqori yoki kam bo'lmaydi. To'qnashishlar vaqtida energiya uzatiladi; ayrim molekulalar tezligi o'zgargani bilan umumiy molekulalar tezligi va energiyasi o'zgarmay saqlanadi, chunki harorat o'zgarmas saqlanyapti.

### ***Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi***

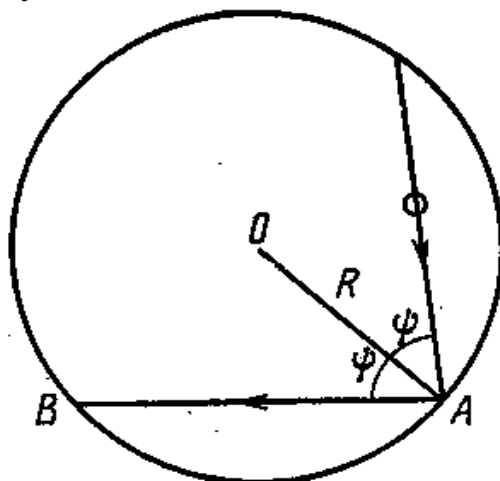
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi Molekulyar kinetik nazariya (MKN) ning asosi hisoblanadi: undan gaz qonunlarini chiqarish,



molekulalar energiyasi va harorat orasidagi munosabatni olish mumkin va hokazo.

$R$  radiusli sfera olamiz va undagi molekulalar soni  $N^l$  bo'lsin. Molekulalar bir-biri bilan hamda idish devorlari bilan o'zaro to'qnashadi. Molekulalarning o'zaro to'qnashishi ular orasidagi energiya va tezliklarning qayta taqsimlanishiga olib kelib, gaz bosimi hamda idish devoriga ta'sir ko'rsatmaydi. Qaralayotgan ideal gazda molekulalar hajmi va molekulalararo masofaviy o'zaro ta'sir e'tiborga olinmaydi. Endi bitta molekulaning harakatini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, molekula  $v$  tezlik bilan to'g'ri chiziqli harakatlanib  $\chi$  burchak ostida idish devoriga urilib qaytsin (3a-rasm).

Molekulaning perpendikulyar idishga to'qnashish vaqtida bergan impulsini topamiz. Parallel idishga berilgan impuls bosimga ta'sir etmaydi, chunki bu impulslar o'zaro qisqaradi. Impuls molekula harakat miqdorining o'zgarishiga teng bo'ladi, ya'ni  $2mU \cos\psi$ . Molekulaning bir to'qnashishidan ikkinchi to'qnashishigacha bosib o'tgan yo'li  $AB$ ga, ya'ni  $2R\cos\psi$  ga teng. Asosiy holda qaraganda razryadlangan gazda molekula  $AB$  katta masofani bosadi: oddiy bosim ostida esa molekula boshqa molekula bilan o'zaro to'qnashib, yo'nalishini o'zgartiradi; ko'pchilik molekulalar orasida ular idishning  $B$  nuqtasida to'qnashadilar va shunday molekulalar ham topiladiki, ularning tezligi va yo'nalishi birinchi molekulaga mos tushadi. Shuning uchun  $AB$  masofani molekula to'qnashishlarsiz o'tadi deyish mumkin.



3a-rasm.  $MKN$  ning asosiy tenglamasini keltirib chiqarish uchun.

Endi molekulaning 1 sekunddagi idish devorlari bilan to'qnashishlari sonini topamiz. Bu qiymat molekula tezligining to'qnashishlarsiz bosib o'tgan masofa nisbatiga teng

$$v = \frac{U}{2R \cos \psi} \quad (1)$$

Bir sekund ichida bitta molekulaning idish devorlariga beradigan umumiy impulsi

$$2mUCos\ \psi = \frac{U}{2RCos\ \psi} = \frac{mU^2}{R} \quad (2)$$

Barcha molekulalarning bir sekunddagi umumiy impulsi

$$F = \frac{1}{R} \Sigma mU^2 \quad (3)$$

Kuchni yuzaga bo`lib, gazning bosimini topamiz:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Sigma mU^2}{4\pi R^2} = \frac{\frac{1}{3} \Sigma mU^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\Sigma mU^2}{V} \quad (4)$$

bu yerda  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$  – gaz hajmi.

(4) tenglikni quyidagicha ko`rinishda yozamiz:

$$PV = \frac{1}{3} \Sigma mU^2 = \frac{2}{3} \Sigma \frac{mU^2}{2} = \frac{2}{3} \Sigma E^l \quad (5)$$

bu yerda  $E^l$  bitta molekulaning kinetik energiyasi.

(5) tenglikning o`ng tomonini  $V$  hajmdagi molekulalar soni  $N^l$  ga ko`paytirib, keyin bo`lsak, quyidagini olamiz.

$$PV = \frac{1}{3} mN^l \frac{\Sigma U^2}{N^l}$$

yoki

$$PV = \frac{1}{3} N^l m \cdot C^2 \quad (6)$$

bu yerda  $C$  – o`rtacha kvadratik tezlik bo`lib

$$C = \sqrt{\frac{\Sigma U^2}{N^l}} \quad (7)$$

ga teng.

(6) tenglamaga gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deyiladi. (6) ni yana quyidagi ko`rinishda ham yozish mumkin.

$$PV = \frac{2}{3} \frac{N^l m c^2}{2} = \frac{2}{3} N^l \cdot \overline{E^l} \quad (8)$$

bu yerda  $E^l$  – bitta molekulaning o`rtacha kinetik energiyasi.

Gazning umumiy kinetik energiyasini  $E$  ni  $E = N^l E^l$  bilan belgilaymiz. Unda

$$PV = \frac{2}{3} E \quad (9)$$

Demak, gaz bosimining uning hajmiga ko'paytmasi gaz molekulari ilgarilanma harakat kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng.

### **Asosiy gaz qonunlarini keltirib chiqarish**

Gazlar kinetik nazriyasining asosiy tenglamasidan XVIII asrda eksperimental aniqlangan gaz qonunlarini keltirib chaqarish mumkin.

**Boyl-Mariott qonuni.**  $PV = \frac{1}{3} N : mc^2$  asosiy tenglamadagi gaz massasi uchun berilgan  $N^l$  va  $m$  o'zgarmas haroratda doimiy bo'lib, molekular tezligi ildiz ostidagi absolyut haroratga mutanosib. Demak, tenglamaning o'ng tomoni doimiy kattaliklar ko'paytmasidan iborat bo'lgani uchun Boyl-Marriot qonunining formulasi kelib chiqadi: o'zgarmas haroratda berilgan gaz massasi uchun bosim va hajm ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir.

$$PV = Const$$

**Dalton qonuni:** gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi:

$$PV = \frac{2}{3} \frac{N^l mc^2}{2} = \frac{2}{3} N^l \overline{E^1}$$

dan

$$P = \frac{2}{3} \frac{N^l}{V} \overline{E^1} = \frac{2}{3} n \overline{E^1} = \frac{2}{3} E \quad (1)$$

bu yerda  $n = \frac{N^l}{V}$  - birlik hajmdagi molekular soni. Bir necha gazlar aralashmasi uchun umumiy molekular soni alohida gaz molekulari soni yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_n \quad (2)$$

Aralashmadagi barcha gazlar bir xil haroratda bo'lganligi uchun, ular molekularining o'rtacha kinetik energiyasi ham bir xil bo'ladi.

$$\overline{E^1} = \overline{E^2} = \dots = \overline{E^n} = \overline{E_n^1} \quad (3)$$

(2) ni (1) ga qo'ysak va (3) ni e'tiborga olsak, u holda

$$P = \frac{2}{3} n_1 \overline{E^1} + \frac{2}{3} n_2 \overline{E^1} + \dots + \frac{2}{3} n_n \overline{E^1} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (4)$$

Ya'ni, **gazlar aralshmasining umumiy bosimi har bir gaz parsial bosimlari yig'indisidan iborat bo'ladi.**

**Gey-Lyussak qonuni:** Endi gaz kinetik nazariyasi asosiy tenglamasini berilgan bir xil massali gaz ikki holati uchun, ya'ni bir xil bosim va har xil haroratda yozamiz

$$PV_1 = \frac{2}{3} N^l \cdot \frac{mc^2}{2} = \frac{2}{3} N^l \frac{ma^2 T_1}{2} \quad (5)$$

$$PV_2 = \frac{2}{3} N^1 \cdot \frac{mc^2}{2} = \frac{2}{3} N^1 \frac{ma^2 T_2}{2} \quad (6)$$

bu yerda  $c^2 = a^2 T$  ga almashtirilgan va  $a$  – mutanosiblik koeffitsienti. (5) ni (6) ga bo`lib, quyidagini olamiz

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$$

ya`ni **doimiy bosimda gaz hajmlari absolyut haroratga bog`liq.**

**Sharl qonuni:** Agar gazni doimiy hajm ostida  $T_1$  dan  $T_2$  gacha isitsak, u holda birinchi holat uchun asosiy tenglama

$$P_1 V = \frac{2}{3} N^1 \frac{ma^2 T_1}{2} \quad (8)$$

Ikkinchi holat uchun

$$P_2 V = \frac{2}{3} N^1 \frac{ma^2 T_2}{2} \quad (9)$$

bundan

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (10)$$

Demak, **doimiy hajmda gazni bosimi absolyut haroratga bog`liq.**

**Mariott-Gey-Lyussak umumlashgan qonuni:** gazlar kinetik nazariyasi asosiy tenglamasini gazning ikki holati uchun hajm, bosim va harorat o`zgarganda yozamiz:

$$P_1 V_1 = \frac{1}{3} N^1 ma^2 T_1 \quad (11)$$

$$P_2 V_2 = \frac{1}{3} N^1 ma^2 T_2 \quad (12)$$

bundan,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (13)$$

Demak, **bosimning hajmga ko`paytmasining haroratga nisbati berilgan massali gaz uchun o`zgarmas kattalikdir.**

**Avogadro qonuni:** Bir xil bosim va harorat ostida hamda bir xil hajmni egallagan ikkita gaz uchun gazlar kinetik nazariyasi asosiy tenglamasini yozamiz:

**Birinchi gaz uchun:**

$$PV = \frac{2}{3} N_1 \frac{m_1 c_1^2}{2} \quad (14)$$

**Ikkinchi gaz uchun**

$$PV = \frac{2}{3} N_2 \frac{m_2 c_2^2}{2} \quad (15)$$

(14) va (15) ifodalarning o'ng tomoni tenglashtirilib va qiymat koeffitsientlarini qisqartirib hamda bir xil haroratda molekulalar kinetik energiyasining tengligini e'tiborga olsak

$$N_1=N_2 \quad (16)$$

Demak, ***bir xil harorat va bosim ostida bir xil hajmlarda molekulalar soni ham bir xil bo'ladi.*** Bir gramm – molekula hajmdagi molekulalar soni Avogadro soni  $N$  ga teng.  $N=6 \cdot 10^{23}$  ta molekula.

Yuqorida ko'rib o'tdikki, gaz kinetik nazariyasi asosiy tenglamasidan barcha gaz qonunlarini osongina chiqarish mumkin.

### ***Ideal gazlarning holat tenglamasi. Gaz doimiyligi***

Gaz holatini tavsiflovchi ***hajm, bosim va harorat kabi asosiy parametrlarni o'zaro bog'lovchi tenglamaga gazning holat tenglamasi deyiladi.*** Mariott-Gey-Lyussakning umumlashgan qonunidan ideal gazning holat (Mendeleyev-Klapeyron) tenglamasini keltirib chiqarish mumkin. Umumlashgan gazning istalgan holati uchun o'rinli, jumladan normal sharoit uchun ham ( $T=0^0S$ ,  $P=10^5 Pa$ )

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

tenglamaning o'ng tomonidagi ikki indekslar o'rniga nolinchi indekslarni va chap tomonidagi indekslar o'rniga hech narsa yozmaymiz, chunki bu parametrlar gazning istalgan holati uchun o'rinlidir:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad (1)$$

Agar (1) formulani berilgan gazning birlik massasi uchun yozsak, u holda o'ng tomon doimiy kattalik bo'lib qoladi va uni gazning solishtirma doimiysi  $B$  deb ataymiz: shunda (1) ni quyidagicha yozamiz:

$$PV=BT \quad (2)$$

(2) formula ***birinchi bo'lib Klapeyron tomonidan olingan*** va  $m$  massali gaz uchun

$$PV=mBT \quad (3)$$

ko'rinishda bo'ladi.

Ideal gazlarning holat tenglamasiga Mendeleyev tomonidan umumiy ko'rinish berilgan.

$$\frac{P_1 V_1}{T} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

bu tenglama bir mol gaz uchun yozilgan.

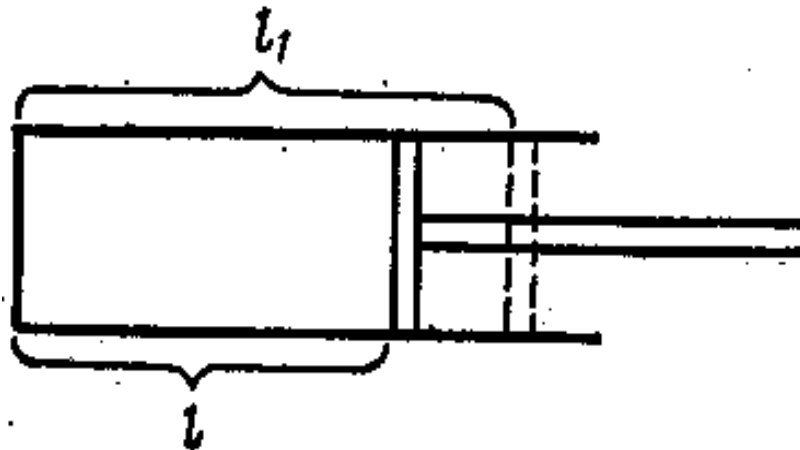
Normal sharoitda har qanday gazning bir moli 22,4 litr hajmni egallaydi, u holda  $\frac{P_2 V_2}{T_2}$  tenglama qismi hamma gazlar uchun universal doimiylilik bo`ladi, u holda (2) tenglamani quyidagicha yozamiz.

$$PV=RT \quad (4)$$

Molekulyar og`irligi  $M$ , mollar soni  $\frac{m}{M}$  bo`lgan  $m$  massali gaz qaralayotgan bo`lsa, Mendeleev-Klapeyron tenglamasining oxirgi ko`rinishi quyidagicha yoziladi:

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (5)$$

Endi  $R$  universal gaz doimiysining fizik ma`nosini keltirib chiqaramiz. Harakatlanuvchi porshenli silindr (4-rasm) ichida  $T_0$  harorat va  $P$  bosim ostida bir mol gaz siqilgan bo`lsin. Gaz bilan band bo`lgan silindr uzunligi  $l$  va porshen yuzasi  $S$  bo`lsin.



4-rasm. Universal gaz doimiysi fizik ma`nosini chiqarish uchun.

Gazni  $l^0 S$  ga isitamiz, ya`ni  $(T+1)^0$  harorat hosil qilamiz. Porshen erkin harakatlana olgani uchun silindr ichidagi gaz bosimi doimiy saqlanadi. Porshen boshqa bir holatga o`tsa, silindr tubidan porshengacha bo`lgan masofa  $l_1$  bo`ladi. Gazning kengayishdagi ishini topamiz.

$$A = F (l_1 - l) = P \cdot S (l_1 - l) = PV_1 - PV = R(T + 1) - RT = R \quad (6)$$

Demak, **universal gaz doimiysi  $R$  – doimiy bosim ostida bir mol gazning haroratini  $l^0 S$  ga ko`targanda bajarilgan ishga teng ekan.**

Xalqaro birliklar sistemasida  $R$  universal gaz doimiysining son qiymatlarini topamiz.

Buning uchun normal bosimni ( $P_0=1,01 \cdot 10^5 Pa$ ) normal sharoitda bir kilomol gaz egallagan hajmga ( $V_0=22410 \cdot 10^{-3} m^3$ ) ko`paytirib,  $273^{\circ}S$  haroratga bo`lamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 22410 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kmol}}{273^0} = 8,3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot ^0\text{K}}$$

yoki bir mol gaz uchun

$$R = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^0\text{K}}$$

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi ideal gazlar uchun chiqarilgan bo`lsa-da, u juda ko`p amaliy masalalarni yechishda keng qo`llaniladi.

Chunki kichik bosim va uncha past bo`lmagan haroratlarda barcha barcha gazlarni ideal deb qarash mumkin. Bir necha yuzlab atmosfera bosim va past haroratlarda Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan chetlanish yuzaga keladi.

Tarkibi murakkab bo`lgan gazlarda gazning molekulyar og`irligi noma`lum bo`ladi. Bunday hollarda molekulyar og`irlikni zichlik orqali topish mumkin. Bunday masalalar yechimini topishda Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan foydalanib, gaz doimiysini hisoblashda molekulyar og`irlik orqali emas zichlik orqali, masalan, bir mol emas bir kilogramm uchun olish kerak. Bunday nolatda universal konstantani olib bo`lmaydi, chunki gaz doimiysi  $B$  har bir gaz uchun olinadi. Bir kilogramm havo uchun

$$B = \frac{P_0}{273} \cdot \frac{1}{\rho^1} \quad (7)$$

bu yerda  $P^I = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  - normal sharoitdagi havo zichligi,  $P_0$  - atmosfera bosimi.

$V_0$  o`rniga  $\frac{1}{\rho_1}$  - solishtirma hajmni, ya`ni bir kilogramm havo egallagan hajmni olamiz. Son qiymatlarni qo`yib, quyidagini olamiz:

$$B = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 1}{273 \cdot 1,293} = 289 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^0\text{K}} \quad (8)$$

Bu bir kilogramm havo uchun gaz doimiysining qiymati.

Havoga nisbatan boshqa  $\rho$  zichlikka ega bo`lgan istalgan gaz uchun  $B$  doimiylik qiymatini topsak, Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi:

$$B = 289/\rho \quad (9)$$

bo`ladi.

Normal sharoitda havoga nisbatan olingan  $M$  massali va  $\rho$  zichlikka ega bo`lgan istalgan gaz uchun Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi:

$$PV = 289 \frac{M}{\rho} \cdot T \quad (10)$$

### ***Molekulyar kinetik nazariyaning tajribaviy asoslari***

Tabiatdagi moddalar qattiq, suyuq holatda bo'lishi ularni bir jinsli deb qarash imkonini beradi. Chunki moddalar deyarli oddiy saroitda siqilmas bo'lganligi uchun ularning tarkibiga boshqa moddlar kira olmaydi deb yuqoridagi fikrga kelamiz. Moddaning gaz holati esa boshqa holatlardan tamomila farq qiladi. Bular asosida moddalarning zarralardan iborat ekanligi kleyb chiqadi. Bizning eramizdan avvalgi V asrda qadimgi yunon faylasufi **Demokrit** moddalar atomlar va bo'shliqlardan iborat bo'lib, atomlar tartibsiz harakatda bo'ladi, shu bilan birga atomlar o'zaro har xil bog'lanishda bo'lishi bilan tabiatda moddalarning turlari har xil degan **atomistik gipotezani** yaratgan. Bu gipotezani o'z davrida Epikur, Lukresiy va boshqalar rivojlantirganlar. Ammo o'rta asr davrida bu nazariya qolib teplorod nazariyasi hukm surgan.

XVIII asrda M.V.Lomonosov moddalarning atomistik nazariyasini ilgari suradi. Uning nazariyasiga ko'ra atomlar ilgarilanma tartibsiz harakatda bo'lishi bilan birga, atom sirtlari tekis bo'lmaganligi uchun ular o'zaro tegishi orqali har qanday haroratda ham aylanma harakatda bo'lib, energiyaga ega bo'ladi. Shu bilan issiqlik mayda zarralarning harakati tufayli hosil bo'ladi degan fikr ilgari surildi. Bundan ko'rinadiki, **moddalar atom va molekulalardan iborat** bo'lar ekan. Bu nazariya **molekulyar-kinetik nazariya** deyiladi. Shuning uchun ularning harakati tufayli hosil boluvchi fizik kattaliklarni molekulyar kinetik nazariya asosida o'rganamiz. Avval bu nazariyaning tajribaviy asoslarini ko'rib chiqaylik. Ular quyidagilardan iborat:

1) gazlarning siqilish xossasiga egaligi uni tashkil etuvchi molekulalar orasidagi masofalarning juda katta ekanligini, ularning bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda harakatda bo'lishini ifodalaydi.

2) Gaz atomlari yoki molekularning o'zaro tashqi ta'sirsiz aralashib ketishi, ya'ni **diffuziya hodisasi** ham modda molekulalari orasidagi bo'shliqning mavjud ekanligidan dalolat beradi.

3) Modda molekulalari orasidagi mavjud bo'lgan yopishqoqlik koeffitsiyenti va uning haroratga bog'liqligi.

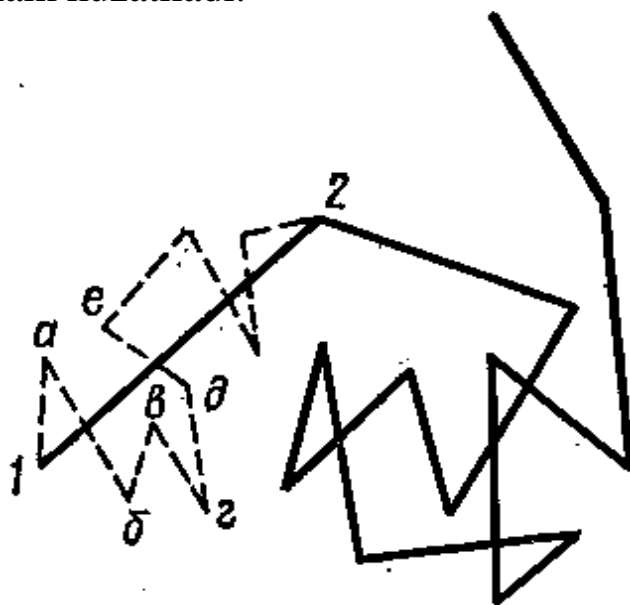
4) Suyuqlik yoki gaz zarralarining tartibsiz (xaotik) harakatda bo'lishi, bunga **Broun harakati** deyiladi.

Molekulyar kinetik nazariyani asoslash uchun biz misol tariqasida Broun harakatini qarab chiqamiz. Broun suyuqlikda muallaq turgan juda mayda zarralarning mikroskop ostida tartibsiz harakatini kuzatgan va zarraning harakatlanish sababini izlagan. Ammo izlanishlar uzoqqa cho'zildi. Broun o'z davrida uning sababini konveksion harakatmi,



suyuqliklar sirt taranglik kuchining mavjudligimi, kimyoviy jarayonmi va hokazolar deb qaradi. Lekin bularning hech qaysisi asos bo'la olmadi. Ammo harorat ortishi bilan Broun harakati o'zgarlanligini kuzatdi.

Broun zarralar harakatini mikroskopda kuzatganda kuzatish vaqtini ko'p yoki kamligiga qarab, ularning izi turli siniq chiziqlardan iborat ekanligini aniqlagan. Uning izi 5-rasmda keltirilgan. 1 va 2 nuqtalar oralig'i zarraning 50 sekund harakatidan keyingi, a, b, d, e, ... nuqtalar (punktir chiziqli izlar) har 5 sekunddan so'nggi, qolgan tutash siniq chiziqlar har 30 sekunddan keyingi zarralarning izlaridir. Siniq chiziqlarning hosil bo'lishiga sabab, bu nuqtalartda zarralar to'qnashib, oz'larining harakat yo'nalishlarini o'zgartiradi. Broun harakati siyraklashtirilgan gazlarda (tutun kiritish bilan) ham kuzatiladi.



5-rasm. Broun harakati.

XX asr boshlarida Eynshteyn va Smoluxovskiylar bu harakatning nazariyasini yaratdilar. Bu nazariyani Perren Avogadro sonini aniqlashda va diffuziya koeffitsiyenti bilan suyuqlikda Broun zarrachalarini siljitish orasidagi bog'lanishni tajribada aniqlash orqali tog'ri ekanligini tasdiqladi. Bu nazariyaga ko'ra suyuqlik molekulalari zarralarga hamma tomondan kelib urilishi natijasida ma'lum miqdorda impuls beradi. Muallaq turganda zarra massasi juda kichik bo'lsa, unga suyuqlik molekulalari tomonidan berilgan impuls sezilarli bo'lib, u zarra ma'lum yo'nalishda ilgariharakatda bo'aldi. Shu bilan bir vaqtda tebranma hamda aylanma harakatlarda ham bo'ladi. Ikkita yonma-yon turgan zarrani olsak, ular birbiriga yaqinlashishini, uzoqlashishini, bir tomonga va qarama-qarshi tomonga harakatlanayotganligini ko'ramiz. Bundan ularning harakati suyuqlik qatlamlarining harakatiga bog'liq emasligi kelib chiqadi. Broun

harakatini tajribada S.I.Vavilov va E.M.Brumberg 1932-yilda gummigut zarrasining suyuqlikda muallaq holatdagi harakatini suratga olib kuzatganlar. Unda ham yuqoridagi fikrlar tasdiqlangan. **Broun harakatini o'rganish strelkali yoki ko'zguli o'lchov asboblarning sezgirlik chegarasini aniqlashda asosiy rol o'ynaydi.** Chunki bu asboblarning atrofida Broun harakatidagi havo molekulalari ham doimo mavjuddir.

### ***Molekulalarning tezliklar bo'yicha (Maksvell) taqsimoti***

Biz gazlar molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini qaraganimizda gaz molekulalarining kvadratik o'rtacha tezligi bilan yaqindan tanishgan edik. Ammo gaz molekulalari har xil tezliklar bilan harakatlanishi mumkin. Chunki ular tartibsiz harakatda bo'ladi. Shuning uchun aniq bir tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar sonini aniqlab bo'lmaydi, balki ma'lum bir tezliklar oralig'ida (intervalida) harakatlanuvchi molekulalar sonini aniqlash mumkin bo'ladi. Bu masala bilan birinchi marta Maksvell shug'ullandi, shuning uchun uni ***Maksvellning tezliklar taqsimoti*** qonuni deyiladi. Maksvell gaz molekulalarining harakat tezliklarini o'rganib, kvadratik o'rtacha tezlikdan tashqari ular ***o'rtacha arifmetik*** tezlikka

$$v = \sqrt{\frac{8kT}{m}} = \sqrt{\frac{8Rt}{\mu}}$$

va eng katta ehtimolli tezlik

$$v_e = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2Rt}{\mu}}$$

bilan harakatlanishi aniqlangan.

Maksvell ehtimollar nazariyasidan foydalanib,  $v$  hamda  $v+\Delta v$  tezliklar oralig'idagi tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar soni  $\Delta N$  ni hisoblab topdi.

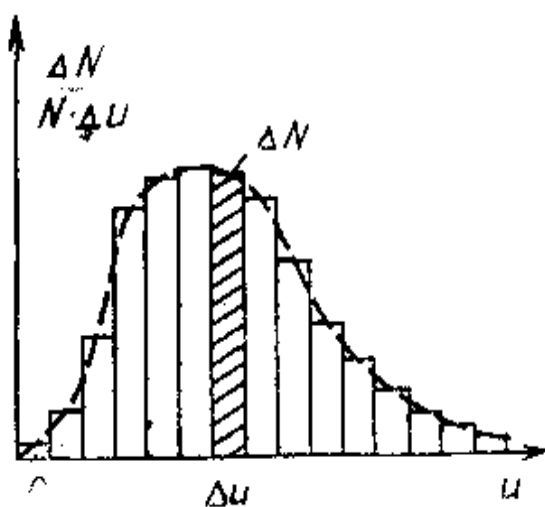
O'zining tezliklar taqsimoti qonunini esa nisbiy tezlik asosida keltirib chiqargan. ***Nisbiy tezlik deb molekulaning harakat tezligini eng katta ehtimolli tezlikka bo'lgan nisbatiga aytiladi.***

$$u = \frac{v}{v_e}$$

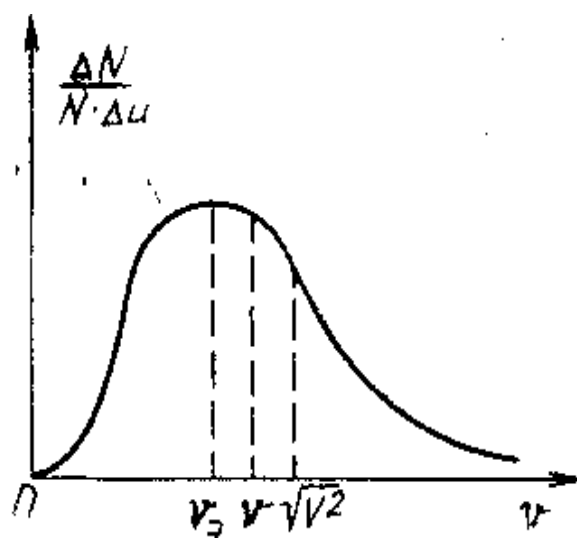
Bu vaqtda tezlik intervali  $u+\Delta u$  nisbiy tezliklar intervali bilan almashib, bu intervalda harakatlanuvchi molekulalar soni

$$\Delta N = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N e^{-u^2} u^2 \Delta u \quad (1)$$

orqali ifodalaniladi. Absissa o'qiga nisbiy tezlik  $u$  ni, ordinata o'qiga Maksvellning taqsimot funksiyasi  $\frac{\Delta N}{N \Delta u}$  ni qo'yganimizda ular orasidagi quyidagi grafik (6-rasm) hosil bo'ladi. Grafikning maksimum nuqtasi nisbiy tezlik bilan birga teng bo'lgan holga tog'ri keladi. Bu esa molekullarni eng ko'p qismi eng katta ehtimolli tezlikka yaqin tezlik bilan harakatlanayotganini ko'rsatadi. Egrilik bilan absissa o'qi orasidagi yuza umumiy harakatlanayotgan, ya'ni kuzatilayotgan molekular soni ( $N$ ) ni ifodalaydi. Shtrixlangan yuza  $\Delta u$  nisbiy tezlik bilan harakatlanuvchi molekular nisbiy soni  $\frac{\Delta N}{N}$  ni ifodalaydi.



6-rasm.



7-rasm.

Biz yuqorida ko'rib o'tgan gaz molekularining:

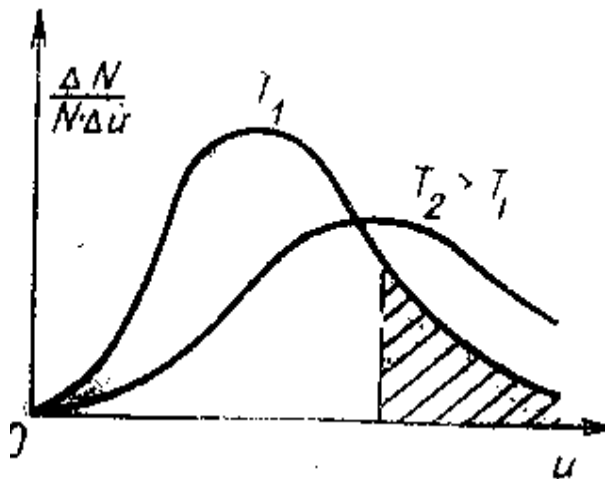
$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \approx 1,73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\mu}} \approx 1,60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \approx 1,41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

tezliklarini taqqoslaganimizda son qiymati jihatidan eng kattasi kvadratik o'rtacha tezlik, eng kichigi esa eng katta ehtimolli tezlik ekanligini ko'ramiz. Uni garfikda ifodalasak, 7-rasmdagi grafik hosil bo'ladi. Ammo bu tezliklar bilan bir xil intervalda harakatlanuvchi molekular sonini qaraganimizda, eng ko'p molekular ehtimolli tezlikka yaqin tezlik bilan harakatlanadi.

Bu, 6-rasmda ifodalangan to'rtburchakning yuzalarini bir-biriga teng emasligidan ham ko'rinadi. *Gaz molekularining hamma tezliklari (nisbiy tezlikdan boshqa)  $\sqrt{T}$  ga mutanosib holda ortadi.* Shuning uchun harorat ortishi bilan taqsimot egriligining maksimumi o'ng tomonga siljiydi (8-rasm).



8-rasm.

Bu harorat ortishi bilan kichik tezlikdagi molekular tezliklarining ortishi va natijada katta tezlik bilan harakatlanuvchi molekular sonining ko'payishi, kichik tezlik bilan harakatlanuvchi molekular sonining kamayishini ko'rsatadi. Ammo umumiy molekular soni o'zgarmaydi. Shuning uchun hamma egrilik cho'zilishi bilan u egri chiziq bilan absissa o'qi orasidagi yuza o'zgarmaydi.

### ***Bolsman doimiysi va bitta molekulaning kinetik energiyasi***

Bolsman doimiysi  $k = \frac{R}{N}$  ga, ya'ni universal gaz doimiysining bir moldagi molekular soniga nisbatiga teng. Uning qiymati  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/grad. Bu ifoda ko'pchilik fizik qonunlarda, jumladan bitta molekula kinetik energiyasini topishda ham ishlatiladi. Molekula energiyasi uchun quyidagi tenglamani yozamiz

$$pV = \frac{2}{3} \overline{E^1} N = RT \quad (1)$$

bu yerda  $\overline{E^1} = \frac{mc^2}{2}$  - bitta molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi.

(1) tenglamadan,

$$\overline{E^1} = \frac{3}{2} \frac{RT}{N} = \frac{3}{2} kT \quad (2)$$

***Bu molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tengliklaridan biridir.***

Yuqoridagilar bir atomli gaz molekulalarining ilgarilanma harakatiga taaluqlidir. Ko`p atomli gaz molekulasi faqat ilgarilanma emas, balki aylanma va tebranma energiyalariga ham ega bo`ladi. Bunday murakkab hol uchun energiyani keyinroq topamiz.

Endi yana bitta tenglama yozamiz

$$PV=RT=NkT \quad (3)$$

(2) tenglamani  $V$  ga bo`lib, quyidagini hosil qilamiz:

$$P = \frac{N}{V}kT = nkT \quad (4)$$

Bu yerda  $n = \frac{N}{V}$  birlik hajmdagi molekulalar soni, ya`ni molekular konsentratsiyasi. (4) tenglama harorat va bosimga asosan molekulalar sonini yoki molekula soni va haroratga qarab bosimni topishga yordam beradi.

(2) tenglama absolyut haroratning molekulyar-kinetik talqinini yaratishga imkon beradi. Demak absolyut harorat  $\frac{3}{2}k$  o`rtacha energiyaga teng ekan.

Past haroratlarda gaz Maksvell taqsimotiga emas, balki Boze-Eynshteyn taqsimotiga bo`ysunadi. Bu holda ideal gaz  $PV=RT$  tenglamasi murakkab ko`rinish hosil qiladi. Past haroratlarda molekulalar kinetik energiyasi haroratga chiziqli bog`lanmagan.

Ammo,  $PV = \frac{2}{3}E$  tenglama hamma hollar uchun o`rinli bo`ladi, chunki tenglamaning kelib chiqishi tezliklar taqsimlanishin bilan bog`liq emas. Bundan molekulyar-kinetik nazariyada absolyut haroratning keltirilgan talqini to`liq emas. Molekulyar-kinetik nazariyada absolyut haroratning haqiqiy talqini termodinamikaning ikkinchi qonunida keltiriladi.

### ***Ehtimollik haqida tushuncha***

Tabiatda, texnikada, molekulyar-kinetik jarayonlarda va statistik fizikada shunday hodisalar uchraydiki, bu hodisalarni ehtimollik nazariyasi asosida tushuntirish mumkin. Masalan: qutichada 40 dona o`lchamlari bir xil va bir jinsli shar bo`lib, ularning 30 donasi oq va qolgan 10 tasi qora bo`lsin. Bu sharlarni qutichadan olib, belgilab bo`lgach, har gal yana qutichaga qaytarib qo`yaylik. Tajribani shu tariqa juda ko`p marta takrorlasak, ko`proq oq sharlarning chiqishini payqaymiz. Albatta shunday

bo'lishi tabiiy, chunki qutichda oq sharlar qora sharlarga nisbatan ko'p. Faraz qilaylik, tajribalar  $n$  marta takrorlangan bo'lib,  $k$  martasida oq shar chiqqan bo'lsin, tabiiyki  $n-k$  martasida esa qora shar chiqqan bo'lsin. U holda

$$v = \frac{k}{n} \quad (1)$$

ifodaga ***nisbiy chastota*** yoki ***chastota*** deyiladi. Masalan, Pirson tajribasida tanga 12000 marta tashlanib, shundan taxminan 6020 martasida, 24000 marta tashlanganda esa 12020 marta gerb tomoni bilan tushib, har bir jarayon uchun chastota mos ravishda 0,5016 va 0,5005 ga, ya'ni  $\frac{1}{2}$  ga yaqin bo'lgan. Shunday qilib, tajribada soni cheksiz ko'p orishi bilan chastota aniq bir songa, bu misolda esa  $\frac{1}{2}$  ga intiladi. Xuddi mana shu son tanga tashlanganda gerb tomoni bilan tushish ehtimolligini bildiradi. Boshqacha aytganda, ma'lum sharoitda  $n$  marta o'tkazilgan tajribada  $k$  tasida gerb tomoni bilan tushish ehtimolligi  $\frac{k}{n}$  nisbatning  $n \rightarrow \infty$  intilgandagi limitiga aytiladi:

$$\omega = \lim_{n \rightarrow \infty} v = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{k}{n} \quad (2)$$

**A) Ehtimolliklarni qo'shish.** Yuqorida aytilgan qutichadagi sharlar bilan qilingan tajribaga yana qaytaylik. Agar sharlarning ranglarini ham farqlamasak, u holda tajribada qutidan ixtiyoriy bitta sharning (qaysi shar ekanligidan qat'iy nazar) sharning chiqish ehtimolligi  $\frac{1}{40}$  ga teng bo'ladi.

Endi qutidan, tajriba bir marta takrorlanganda, oq sharning chiqish ehtimolligini hisoblaylik. Bir marta tajribada ixtiyoriy bitta sharning chiqish ehtimolligi  $\frac{1}{40}$  bo'lganligidan oq sharlarning 30 dona ekanligidan e'tiborga olsak, bu ehtimollik hamma oq sharlarning (bir marta tajriba takrorlanganda) chiqish ehtimolliklarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_{30} = \frac{30}{40} \quad (3)$$

Shunday qilib, ***bir necha voqea ehtimolliklarining yig'indisi bitta voqeaning sodir bo'lish ehtimolligini beradi.*** Bu voqealarning bir nechtasi bir vaqtning o'zida ro'y berishi mumkin emas. Bu misoldagi  $\frac{30}{40}$  bitta tajribada oq sharlardan faqat bittasining chiqish ehtimolligidir. (3) da yig'indilar soni  $i$  xohlagancha bo'lishi mumkin, biroq bu yig'indi birdan katta bo'lmasligi kerak.

**B) Ehtimolliklarni ko'paytirish.** Kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, umuman olganda tabiatda turli xil voqealar (hodisalar) bir-biriga bog'liq bo'ladi, ya'ni bir voqeaning ro'y berishi ehtimolligi ikkinchi voqeaning

ro'y bergan yoki bermaganligiga bog'liq bo'lishi mumkin. Ana shunday murakkab voqealar ehtimolligi ayrim voqealar ehtimolliklarining ko'paytmasi orqali topiladi. Faraz qilaylik, qutichda  $n$  ta shar bo'lib, undan  $n$  tasi oq, qolganlari esa qora bo'lsin. Tajribani odatdagidek sharni qutichadan olib, belgilagandan keyin qaytarib qutichaga qo'ymaslik sharti bilan takrorlaylik. Bu holda keyingi voqeaning ro'y berish ehtimolligi o'zgaradi. Tajribaga qadar oq sharning chiqish ehtimolligi  $\frac{m}{n}$  bo'lsa, keyingi tajribada yana oq sharning chiqish ehtimolligi  $\frac{m-1}{n-1}$  bo'ladi. Agar birinchi tajribada qora shar chiqqan bo'lsa, ikkinchi tajribada yana oq sharning chiqish ehtimolligi  $\frac{m}{n-1}$  ga teng bo'ladi.

Endi ikkita quticha olamiz, bittasida  $n$  ta shar bo'lib, ulardan  $n_1$  tasi oq, ikkinchi qutichada hammasi bo'lib  $m$  ta shar bo'lib, undan  $m_1$  tasi oq bo'lsin. U holda birinchi qutichada birinchi tajribada oq sharning chiqish ehtimolligi

$$\omega_1 = \frac{n_1}{n}$$

Ikkinchi qutichada oq sharning chiqish ehtimolligi  $\omega_2 = \frac{m_1}{m}$  ga teng bo'ladi. Bir vaqtda har ikkala qutichadan ham oq sharning chiqish ehtimolligi murakkab voqea bo'lib (tajriba bir marta o'tkazilganda), ayrim voqea ehtimolliklarning ko'paytmasiga teng bo'ladi.

$$\omega = \omega_1 \cdot \omega_2 = \frac{n_1}{n} \cdot \frac{m_1}{m} \quad (4)$$

Agar bu aytilganlarni juda ko'p sonli murakkab voqeaga tatbiq qilsak,

$$\omega = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3 \dots \cdot \omega_i \quad (5)$$

Xuddi shuningdek (birinchi misolda  $n$  ta shardan  $m$  tasi oq) qutichadan ketma-ket ikkita marta oq shar chiqish ehtimolligi ham murakkab voqea bo'lib, u

$$\omega = \frac{m}{n} \cdot \frac{m-1}{n-1}$$

ga teng.

### ***Taqsimot funksiyasi***

Taqsimot funksiyasi mohiyatini yanada aniqroq tushunish uchun diskret va uzluksiz kattaliklar bilan bog'liq bir necha masalani qarab chiqaylik.

Yoqlariga 1 dan 6 gacha sonlar yozilgan, materiali va o'lchamlari bir xil ikkita kubcha olib bir martadan tashlanganda uning yoqlaridagi sonlarning yig'indisi 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 va 12 chiqish ehtimolliklarini aniqlaylik.

Ma'lumki, hamma hollarning soni  $6 \times 6 = 36$  ga teng bo'lib, har bir voqeaning bo'lish ehtimolligi o'zaro teng. Sonlar yig'indisi 5 ga teng bo'lib chiqishini quyidagi usullar bilan amalga oshirilishi mumkin:  $1+4$ ,  $2+3$ ,  $3+2$  va  $4+1$  bo'lib 5 chiqadigan hollarning soni 4 ta bo'lganligidan kubchalar bir marta tashlanganda 5 chiqish ehtimolligi  $\frac{4}{36}$  ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, yuqorida aytilgan sonlarning chiqish ehtimolliklari biror qonuniyat bilan taqsimlanadi. Bu jarayonda 7 yozilgan yoq yo'qligidan 7 bo'lish ehtimolligi nolga (bitta kubcha bir marta tashlanganda), har ikkala kubchaga nisbatan yig'indi 13 bo'lish ehtimolligi nolga teng bo'ladi, chunki kubchaning 7 raqam yozilgan tomoni yo'q. Bu taqsimlanishni grafik va jadval ko'rinishida ko'rsatish mumkin.

<b>Hol</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Ehtimollik</b>	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1
	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Jadvaldan ko'rinish turibdiki, **hamma ehtimolliklar yig'indisi birga teng bo'lib, unga normalash sharti deyiladi.**

$$\sum \omega_i = 1 \quad (1)$$

Uzluksiz kattaliklarning normalash sharti uzluksiz kattalaiklarning normalash shartidan farq qiladi. Tasodifiy  $x$  kattaliklarning  $x$  va  $x+\Delta x$  intervalida chiqish ehtimolligi  $x$  ning qiymatiga uning tanlab olinishiga bog'liq bo'ladi. Masalan,  $x$  kattalik molekulaning tezligi  $v_x$  bo'lsin. U holda birlik hajmida tezligi  $x$ ,  $x+\Delta x$  intervalda bo'lgan molekullarning soni  $\Delta n$ , tezlik intervali  $\Delta x$  ga bog'liq bo'lib, interval qancha katta olinsa,  $\Delta n$  ham va binobarin, tasodifiy kattaliklarning bo'lish ehtimolligi ham shuncha katta bo'ladi:

$$\Delta n \sim \Delta x$$

yoki

$$\Delta n = a \Delta x \quad (2)$$

bu yerda  $a$  – mutanosiblik koeffitsiyenti bo'lib, tezlikning funksiyasidir:

$$a = f(v)$$

Haqiqatdan, interval bir xil bo'lgani bilan  $\Delta n$  har xil bo'lishi mumkin. Masalan 300-350 m/s va 215-220 m/s tezlik bilan harakat



qilayotgan molekular soni interval har ikkala holatda ham o'zaro teng ( $\Delta x=5$  m/s) bo'lishiga qaramay, birlik hajmdagi (shu intervaldagi) molekularning soni  $\Delta n_1$  va  $\Delta n_2$  lar bir xil bo'lmasligi mumkin,  $\Delta n$  esa 215 m/s va 300 m/s tezliklarga bog'liq bo'ladi.

Shunday qilib, ***tasodifiy kattaliklar ehtimolligi bilan kattaliklarning funksional bog'lanishni ifodalaydigan  $a=f(x)$  funksiyaga taqsimot funksiyasi deyiladi.***  $\Delta n$  yana birlik hajmdagi umumiy molekularining soni  $n$  ga ham (mutanosib) bog'liq bo'ladi:

$$\Delta n = n f(x) \Delta x \quad (3)$$

Bu ifoda ba'zan quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{\Delta n}{n} = f(x) \Delta x \quad (4)$$

(4) ifodaning  $\Delta x \rightarrow 0$  intilgandagi limiti

$$\frac{dn}{n} = f(x) \Delta x \quad (5)$$

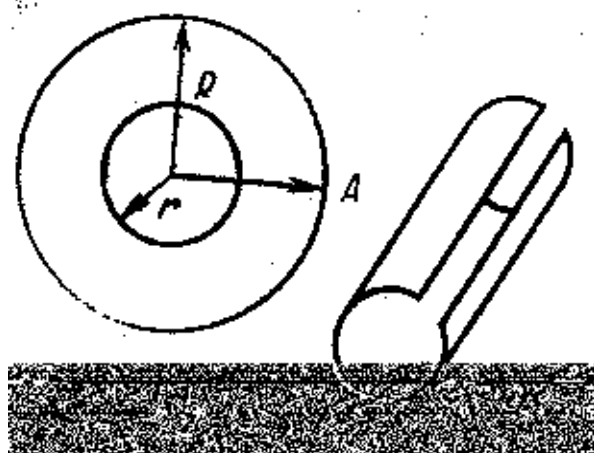
bo'ladi. (4) dan ko'rinib turibdiki,  $\Delta x=1$  bo'lganda  $f(x) = \frac{\Delta n}{n}$  ga teng bo'lib, u tezligi  $x$  va  $x+\Delta x$  oraliqda bo'lgan birlik hajmdagi molekularning nisbiy sonini ifodalaydi. Agar uzluksiz kattaliklarning normalash shartidan foydalansak, u holda (5) ga asosan

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = \int_0^n \frac{dn}{n} = 1 \quad (6)$$

Taqsimot funksiyasi  $f(x)$  ma'nosi jihatidan interval kengligi birga teng ( $\Delta x=1$ ) bo'lgandagi ehtimolligi ( $f(x) = \frac{\Delta n}{n}$ ) ehtimollik zichligini ifodalaydi.

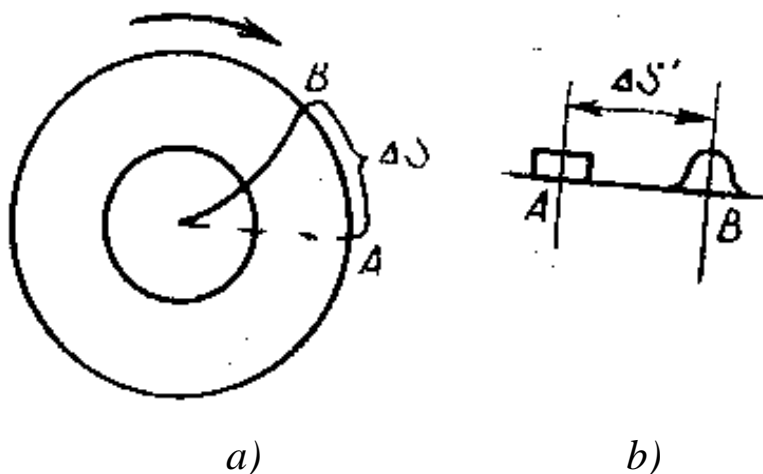
### ***Maksvellning tezliklar taqsimoti qonunini tajribada tekshirish***

Biz oldingi mavzularda gaz molekularining tezliklari bo'yicha qanday taqsimlanishi bilan nazariy jihatdan tanishib chiqdik. Endi shu nazariy hisoblangan molekularning tezliklarini tajribada tekshiraylik. Buning uchun ***Shtern tajribasi*** bilan tanishib chiqaylik. Shtern radiuslari  $R$  va  $r$  bo'lgan kovak silindrlarni kooksial joylashtirib (9a-rasm), silindrlar o'qiga kumushlangan platina sim o'rnatib, ikkala silindrni o'z o'qi atrofida erkin aylanma harakat qiladigan holda o'rnatgan. Ichki silindrning yon tomonida uzun tor tirqish hosil qilgan (9b-rasm). Bu qurilmada  $10^{-8}$ - $10^{-7}$  Pa bosimli yuqori vakuum hosil qilingan.



9-rasm.

Birinchi vaqtda qurilma tinch holatda bo'lib, platinadan elektr toki o'tgan vaqtda kumush atomlari bug'lanib ichki silindrlarning hamma tomoniga bir xil tarqaladi. Ammo silindr tirqishiga tog'ri kelib qolgan kumush atomlari tashqi silindr devoriga kelib urilib kondensatsiyalanib silindr devoriga o'tirib, A nuqtada aniq chegarali kumush dog'ini hosil qiladi (10a-rasm).



10-rasm.

Endi ikkinchi holda platinadan tok o'tib turgan holatda sistemani  $\omega$  burchak tezlik bilan tekis aylanma harakatga keltiramiz. Bu vaqtda tirqish orqali uchib o'tayotgan kumush atomlari tashqi silindrning A nuqtasiga tushmasdan harakatga qarama-qarshi tomonda B nuqtaga yoyilgan holda tushadi (10b-rasm). Bunday tushishining sababi kumush atomlarining har xil tezlikka ega bo'lishidir. Katta tezlikka ega bo'lganlari A ga yaqinroq, kichikroq tezlikdagilari esa A dan uzoqroq nuqtalarga tushgan. Bundan tashqari dog'ning yoyilgan qismi turli qalinlikka ega bo'ladi. Bu molekulalar sonining ko'p yoki kam ekanligini ko'rsatadi. Kumush atomlarining sistema harakatda bo'lganda A nuqta ustiga tushmasligiga

sabab atom tirqishdan chiqib tashqi silindrga tushguncha  $v$  tezlik bilan  $R-r$  masofani-silindrlar oralig'ini bosib o'tishi uchun

$$t = \frac{R-r}{v} \quad (1)$$

vaqt o'tadi. Bu vaqtda tashqi silindr radiusi  $\omega$  burchak tezligi bilan  $\varphi = \omega t$  burchakka siljiydi. Bu vaqtda tashqi silindrdagi  $A$  nuqta  $\Delta S$  yoyga siljib ketib, atom  $B$  nuqtaga tushadi. Matematikadan ma'lumki, markaziy burchak ( $\varphi$ ) qarshisidagi yoy ( $\Delta S$ ) radiusi ( $R-r$ ) bilan shu burchakning ko'paytmasiga teng, ya'ni;

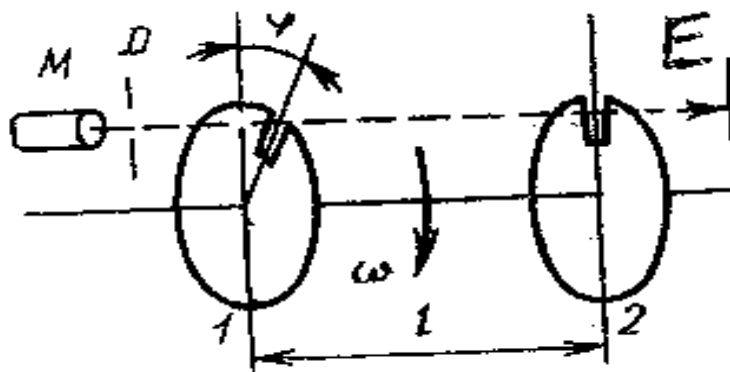
$$\Delta S = (R-r)\Delta\varphi = (R-r)\omega t \quad (2)$$

Bu ifodaga vaqt ifodasini (1) formuladan qo'yib, kumush atomining tezligini topsak,

$$v = \frac{(R-r)^2}{\Delta S} \omega \quad (3)$$

hosil bo'ladi. Bunday  $\Delta S$   $B$  dog'ning boshlanishini, o'rtasi va u ular orasidagi  $A$  nuqtagacha bo'lgan masofadir. Tezliklar har xil bo'lgani uchun bu masofalar ham har xil bo'ladi. Agar  $\Delta S$  masofani  $B$  dog'ning qalin joyidan  $A$  dog'ning o'rtasigacha o'lchab, (3) formula yordamida tezlik hisoblansa, molekulaning katta ehtimolli tezligi kelib chiqadi.

Shterndan molekularning tezliklarini aniqlash uchun unga nisbatan aniqroq usulni **Lamert** qo'lladi. U molekular dastasidan foydalandi. U vakuumda bitta o'qqa bir-birdan  $l$  masofada o'rntilgan ikkita disk oladi (11-rasm). Disklarning ikklasida bir-biri bilan  $\varphi$  burchak hosil qiluvchi radius bo'yicha tirqish bor. Manba  $M$  dan  $D$  diagramma orqali birinchi diskdagi tirqishga tushgan molekular dastasining ma'lum bir tezlikdagi qismi ikkinchi diskdagi tirqishdan o'tib uning orqasiga joylashtirilgan  $E$  ekranga tushadi. Qolganlari esa ikkinchi diskdan o'ta olmaydi va ekranda ko'rinmaydi.



11-rasm.

Ikkala diskdagi tirqishdan o'tuvchi molekula disklar orasidagi  $l$  masofani  $v$  tezlik bilan  $t_1 = \frac{l}{v}$  vaqtda o'tadi. Bu vaqtda disk  $\varphi$  burchakka  $\omega$

burchak tezlik bilan burilish vaqti  $t_1 = \frac{\varphi}{\omega}$  ga teng bo'ladi. Molekulalar o'tishi uchun bu vaqtlar teng bo'lishi kerak. Ularning tengligidan foydalanib tezlikni aniqlasak,

$$t_1 = \frac{\omega l}{\varphi} \quad (4)$$

kelib chiqadi.

Qurilmada aylanish tezligi  $\omega$  ni yoki tirqishni bir-biriga nisbatan siljitish orqali molekulalarning ixtiyoriy tezliklarini (4) yordamida hisoblashimiz mumkin. Bir xil vaqt ichida har xil tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar dastasini olib, molekulalarning nisbiy sonlarini hisoblab, taqsimot funksiyasining to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

### ***Molekulalarning o'rtacha to'qnashishlari soni va o'rtacha erkin yugurish yo'li***

Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tasavvurlaridan biri gaz molekulalari juda kichik bo'lmagan bosimlarda ham vaqt birligida ko'p marta to'qnashadilar. Chunki gaz molekulalari har doim issiqlik harakatida bo'ladi. Molekulalar to'qnashishida ularning markazlari o'zaro juda yaqinlashadi. Shu vaqtdagi molekulalar markazlari orasidagi masofaga molekulalarning **effektiv diametri** deyiladi ( $\sigma=2r$ ) (12-rasm).

Ideal gaz molekulalarining vaqt birligidagi to'qnashishlar sonini aniqlash uchun birinchi navbatda molekulalar qo'zg'almas bo'lib, ular shunday joylashganki, ularning markazlari diametri  $\sigma=2r$  ga teng bo'lgan silindr hosil qiladi va silindr markazi (o'qi) bo'yicha bir dona molekula o'rtacha arifmetik tezlik bilan harakatlanadi deb tasavvur qilamiz.

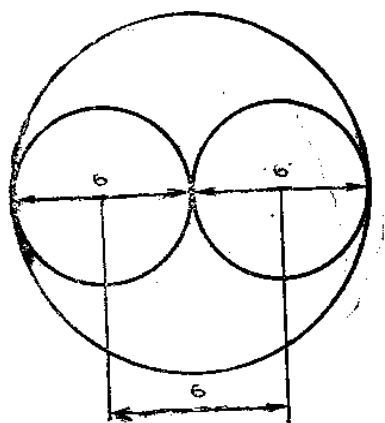
Olingan silindrning uzunligi molekulaning vaqt birligi ( $t=1$  s) da o'tgan masofasiga teng, ya'ni  $l=v$  (13-rasm). Bu molekula vaqt birligida radiusi molekula effektiv diametriga va  $l$  uzunligi  $v$  ga son jihatdan teng bo'lgan silindr ichida markazlari joylashgan  $z$  dona molekulaning hammasiga tegib o'tadi.

Bu silindr ichidagi molekulalar konsentratsiyasi  $n$  bo'lsa, ular vaqt birligida to'qnashish sonining o'rtacha qiymati

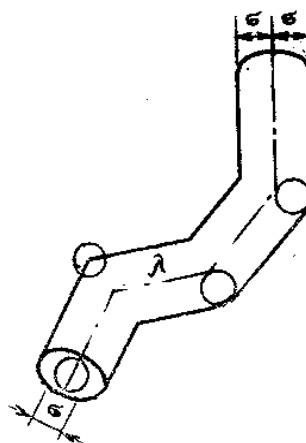
$$z = \pi \sigma^2 n v \quad (1)$$

bo'ladi. Ammo barcha molekulalar har doim xaotik harakatda bo'lishini hisobga olsak, to'qnashishlar soni  $\sqrt{2}$  marta ko'p bo'ladi. U vaqtda (1) quyidagicha ifodalaniladi:

$$z = \sqrt{2} \pi \sigma^2 n v \quad (2)$$



12-rasm.



13-rasm.

(1) va (2) barcha molekularning vaqt birligida to'qnashishining o'rtacha qiymatini ifodalaydi.

Molekularning o'zaro ketma-ket ikki marta to'qnashguncha erkin o'tgan masofasiga ularning **erkin yugurish yo'li** deb ataladi. Buning o'rtacha qiymatini hisoblaymiz. Chunki bir xil sharoitda ham ularning erkin yugurish yo'li har xil bo'ladi. Molekularning erkin yugurish yo'li uzunligini aniqlash uchun vaqt birligida o'rtacha arifmetik tezlik bilan o'tgan masofasi ( $l=v$ ) ni o'rtacha to'qnashishlar soniga bo'lamiz, ya'ni:

$$\lambda = \frac{l}{z} = \frac{v}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n v} = \frac{l}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 P} \quad (3)$$

Bundan ko'rinadiki, erkin yugurish yo'li molekularning quyugligiga, ya'ni gaz bosimiga teskari mutanosib bo'lar ekan.

Quyidagi jadvalda normal sharoitda ba'zi gaz molekularini tavsiflovchi kattaliklari keltirilgan:

$T/r$	<b>Gazlar</b>	$\mu, 10^{-3}$ $kg/mol$	$v, m/s$	$v^2, m/s$	$\lambda, 10^{-8}$ $m$	$z, 1 s$ $10^8$	$\sigma, 10^{-10}$ $m$
1	Vodorod (H <sub>2</sub> )	2	1690	11	15	2,3	1840
2	Geliy (He)	4	1200	18	6,9	1,9	1310
3	Suv bug'i (H <sub>2</sub> O)	18	566	4	14	2,6	615
4	Azot (N <sub>2</sub> )	28	454	6,0	7,6	3,1	493
5	Kislorod (O <sub>2</sub> )	32	425	6,5	6,6	2,9	461
6	Aron (Ar)	40	381	6,4	6,0	2,8	414
7	Karbonat angidrid (CO <sub>2</sub> )	44	362	4	9,1	3,2	393

Bu jadvaldagi qiymatlardan ko'rinadiki, molekulyar massa ortishi bilan, deyarli molekulani tavsiflovchi barcha kattaliklar unga teskari mutanosib ravishda o'zgarar ekan.

### ***Bolsman taqsimoti. Barometrik formula***

Uncha katta bo'lmagan hajmlarda (bir necha  $m^3$  da) gazlarning zichligi va birlik hajmidagi molekulalar soni (konsentratsiya) qaraayotgan fazoda deyarli bir xil bo'ladi. Katta hajmlarda molekulalarning teng taqsimlanishi og'irlik kuchi ta'sirida buziladi, bunda zichlik ham o'zgaradi.

Ideal gaz tenglamalarini molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamalarini qaraganimizda gazga tashqi ta'sir bo'lmagan holdagina gaz molekulalari gaz solingan idishning hamma tomonida bir xil taqsimlanadi kuzatilayotgan holatda gaz quyuqligi o'zgarmaydi deb qarashimiz mumkin. Aks holda esa bu ish mumkin emas, Yer sharini havo qatlami o'ragan. Uni yer tortishi natijasida agar molekulalarning o'zaro itarishishi kuchi bo'lmaganda, Yer sirtida atmosfera qatlami hoisl bo'lmas edi. Demak, bu ikkala ta'sirdan ko'rinadiki Yer sirtidan uzoqlashishiga qarab gaz molekulalari quyuqligiga qarab o'zgarib boradi. Yerning tortishish kuchini o'zgarmas deb gaz molekulasi quyuqligining balandlikka qarab qanday o'zgarishini qarab chiqaylik

Yer sirtidan balandlik oshishi bilan atmosfera bosimini o'zgarish qonunini qaraymiz. Yer sirtida atmosfera bosimi  $P_0$  va  $h$  balandlikda  $P$  bo'lsin. Balandlik  $dh$  ga oshganda bosimning o'zgarishi  $-dp = \rho g dh$  bo'ladi, bu yerda  $\rho$  – berilgan  $h$  balandlikdagi havo zichligi.

$\rho = mn$  bo'lib,  $n$  – birlik hajmdagi molekulalar soni,  $m$  – molekula massasi. Molekulalar soni bosim bilan  $P = nkT$  tartibda bog'langan, u holda

$$\rho = \frac{mP}{kT} \quad (1)$$

va

$$dP = -\frac{mg}{kT} \rho dh \quad (2)$$

$T = \text{Const}$  deb olib, (katta balandliklarda o'rinli emas) (2) ifodani integrallaymiz:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{mg}{kT} \int_0^h dh \quad (3)$$

Bundan barometrik formulani olamiz:

$$P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) \quad (4)$$

$m$  ni  $\frac{\mu}{m}$  orqali belgilasak, bu yerda gaz molekulyar og'irligi,  $N$  – Avogadro soni, quyidagini olamiz:

$$P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{mgh}{RT}\right) \quad (5)$$

Gaz bosimining birlik hajmdagi molekular soniga mutanosib ekanligini e'tiborga olib, (5) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) = n_0 \exp\left(-\frac{mNgh}{RT}\right) \quad (6)$$

Ikkita parallel tekislik orasida og'irlik kuchi ta'siri ostida bo'lgan dh qalinlikdagi gaz qatlamini qaraymiz. Og'irlik kuchining yo'nalishi bu tekisliklarga perpendikulyar. Quyi tekislikning Yerdan balandligi  $h$ . Yer sirtidan yuqoriga qarab harakatlanayotgan molekulani qaraylik; vertikal yuqoriga yo'nalgan molekula boshlang'ich tezligi  $U_{zo}$ . Balandlik bo'yicha molekula tezligining o'zgarishini energiyaning saqlanish qonunidan topamiz:

$$\frac{mU_{zo}^2}{2} = \frac{mU_z^2}{2} + mgh \quad (7)$$

Molekulaning o'zaro to'qnashishlari natijasida  $h$  balandlikni zabt etolmagani uchun bizning mulohazalarimiz to'g'ri: molekula to'qnashish vaqtida tezligini boshqa molekulaga beradi. Molekula zabt etgan balandlik

$$h = \frac{U_{zo}^2}{2g}$$

$h$  balandlikdan yuqori balandliklarda faqatgina boshlang'ich tezligi quyidagi tezlikdan katta bo'lgan molekular bo'lishi mumkin.

$$U_{zo} + dU_{zo} = \sqrt{2g(h + dh)}$$

Balandlikning nolinch qatlamidagi birlik hajmdagi molekular tezligi  $U_{zo}$  dan  $U_{zo} + dU_{zo}$  gachada  $nf(U_{zo})dU_{zo}$  ga teng, har sekunda bir sirtini tashlab ketuvchi molekular soni  $v = n_0 f(U_{zo})U_{zo} dU_{zo}$  (7) ga tenglikka asosan  $U_z = 0$ ,  $U_{zo} dU_{zo} = gdh$  bo'lsa, u holda

$$v = n_0 f(U_{zo})gdh \quad (8)$$

Bu  $dh$  qatlamga har sekunda kelayotgan va undan chiqib ketayotgan molekular orasidagi farqdir.

Farqni (6) tenglik differensiallab, keyin tezlikning  $\omega_z$  o'rtacha qiymatiga ko'paytirib ham topish mumkin.

$$v_0 = dn = n_0 \frac{mNg}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{RT}\right) \omega_z dh \quad (9)$$

(8) va (9) tenglikni bir-biriga qo'yib,  $gh = \frac{U_{zo}^2}{2}$  ekanligini e'tiborga olib quyidagini olamiz

$$f(U_z) = \frac{mN}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{RT}\right) \varpi_z = \frac{mN \varpi_z}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{2RT}\right) \quad (10)$$

Demak, tezliklar bo'yicha molekullarning taqsimlanishi og'irlik kuchiga bog'liq emas.

Bolsman doimiysini kiritib va og'irlik maydoni potentsiali  $\varphi=gh$  ekanligini e'tiborga olib, (10) ni quyidagicha yozamiz:

$$f(U_z) = \frac{2\varpi_z}{U^2} \cdot \exp\left(-\frac{2\varphi}{U^2}\right) \quad (11)$$

yoki

$$f(U_z) = \frac{2\varpi_z}{U^2} \cdot \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right) \quad (12)$$

$h$  balandlikda birlik hajmdagi sonini (6) ifodaga  $\varphi=gh$ , og'irlik kuchi potentsialini qo'yib topsak,

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) \quad (13)$$

$m\varphi$  ifoda og'irlik kuchi maydonida molekulaning potentsial energiyasini beradi.

Tezliklari  $U_z$ ,  $U_z+dU_z$  intervalda  $h$  balandlikda birlik hajmdagi molekullar soni

$$dn_{U_z} = \frac{N'}{\sqrt{\pi} \cdot U} \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right) dU_z = N' f(U_z) dU_z$$

Bu yerda

$$f(U_z) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right)$$

ga asosan

$$dn_{U_z} = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) \frac{1}{\sqrt{\pi} \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{mU_z^2}{2kT}\right) = \frac{n_0}{\sqrt{\pi} \cdot U} \cdot \exp\left[-\frac{m}{2kT} \cdot (2\varphi + U_z^2)\right] dU_z \quad (14)$$

Bu yerdan  $h$  balandlikdan molekullarning potentsial energiyasi,

$$E=mgh$$

(13) ifodaga og'irlik kuchi maydoni potentsialini kiritib, uni

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (15)$$

ko'rinishida yozishimiz mumkin.

Bolsmanning bu qonunini og'irlik kuchi maydonida molekullarning taqsimlanishini yoki og'irlik kuchi potentsial maydonida issiqlik haakatida ishtirok etayotgan zarralar taqsimlanishini ifodalaydi. Bu qonunni istalgan potentsial maydonda bo'lgan barcha gazsimon molekullarga o'xshash zarralar uchun qo'llash mumkin.

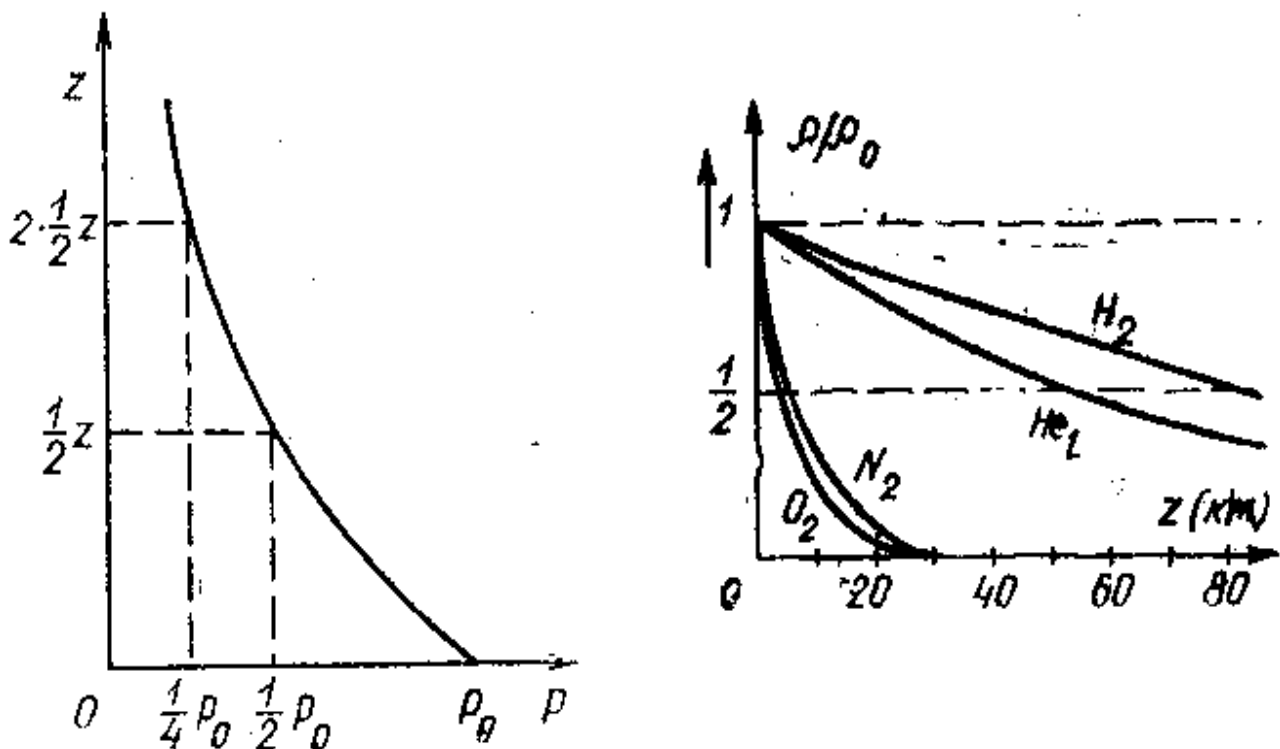


## Agar Maksvellning taqsimlanish qonuni formulasi

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left( \frac{U_{z_0}^2}{U^2} \right) \cdot \exp \left( - \frac{U^2}{U^2} \right) \cdot \frac{dU}{U}$$

ga (15) dagi  $n$  ning qiymatini qo'yib tashqi kuchlar maydonida  $\varphi$  potensialga ega bo'lgan va  $U$  dan  $U+dU$  tezliklar intervaliga ega bo'lgan ideal gaz molekulasini qismi uchun Maksvell-Bolsman taqsimlanish formulasini olish mumkin:

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left( \frac{U_{z_0}^2}{U^2} \right) \cdot \exp \left( - \frac{U_{z_0}^2 + 2\varphi}{U^2} \right) \cdot \frac{dU}{U} \quad (16)$$



14-rasm.

(15) tenglikdan  $\varphi=0$  hol uchun  $n=n_0$  bo'ladi. Ammo atmosfera tarkibida turli gazlar bo'lganligi uchun gaz molekularining massalari bir-biridan farqli qilganligi uchun bu gazlarning zichligi massalariga teskari mutanosib ravishda o'zgardi. 14-rasmdagi grafikdan ko'rinadiki:

1) Kislorodning zichligi Yer sirtidan 5 km vodorodniki esa 80 km geliyniki esa 40 km ikki marta kamayar ekan.

2) Boshqa yengil gazlarga nisbatan kislorodning zichligi balandlikka qarab juda tez kamayar ekan. Chunki uning massasi kattadir.

## *Atmosferada harorat va bosimning balandlikka bog'liqligi*

<i>Sferaning nomlanishi</i>	<i>Sferaning o'rtacha balandligi</i>	<i>O'tish qatlami va balandligi</i>	<i>Haroratning o'rtacha taqsimlanish</i>
Troposfera	Yer sirtidan tropopauzagacha	8-18 km balandlikda	Har km.da o'rtacha 6,5°S pasayadi
Stratosfera	Tropopauzadan 50-55 km yuqorida	50-55 km balandlikda	Stratopauzada 2,5 dan -12,5°S gacha pasayadi
Mezosfera	Stratopauzadan 80-85 km yuqorida	80-85 km balandlikda	Har km.da 3-4°S gacha pasayadi
Termosfera	80-85 km dan yuqori (800-1000 km gacha)	-	Harorat oshadi, 120 km balandlikda 60°S, 150 km balandlikda 700°S
Ekzosfera	800-1000 km dan yuqori	-	Harorat balandlikka mutanosib ravishda oshadi

### *Avogadro sonini aniqlash*

Har qanday moddaning bir molida  $6,023 \cdot 10^{23}$  ta molekula bo'ladi, buni bir-biri bilan bog'liq bo'lmagan ko'plab eksperimental usullar yordamida aniqlash mumkin. Biz Perren tomonidan taklif etilgan ikki usulni ko'rib chiqamiz.

Birinchi usul barometrik formulani emulsiya va suspenziyaga qo'llashga asoslangan. Suyuqlikda muallaq holda bo'lgan kichik qattiq jism zarrachalari  $h$  balandlikda Bolsman qonuniga asosan taqsimlanadi:

$$n_h = n_0 \cdot \exp \left( - \frac{(m - m_0) N g (h - h_0)}{RT} \right) \quad (1)$$

bu yerda  $m_0$  – zarra hajmidagi suyuqlik massasi.

Perren suspenziyada gummigut bo'yog'idan foydalandi, har xil tajribalardan zarrachalar o'lchami 150 nm dan 500 nm gacha,  $h-h_0$

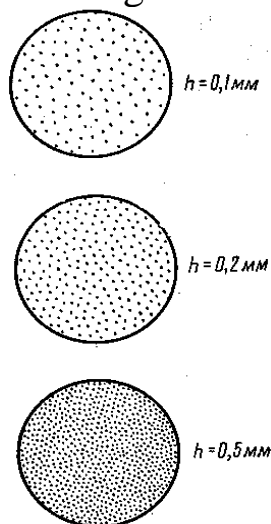
balandliklar farqi bir mikrometr atrofida,  $n$  va  $n_0$  – mikroskop qisqa fokusi ko`rish maydonidagi zarralar miqdori. Suspenziya barcha qatlamlarining balandligi 0,1 mm atrofida.

Sharsimon zarralar o`lchamini mikroskopda kuzatish va gummigut zichligini o`lchash bilan yoki Stoks qonuni bo`yicha suyuqlikda tushayotgan zarra tezligini o`lchash yo`li bilan topiladi.

$$6\pi rU\eta = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)g \quad (2)$$

bu yerda  $r$  – zarra radiusi,  $U$  – uning tezligi,  $\eta$  – suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti,  $\rho$  – gummigut zichligi va  $\rho_0$  -suyuqlik zichligi.

Zarralarning  $m$  massasini idish tubida o`tirgan aniq zarralar sonini tortish bilan topish mumkin. Suspenziya kyuvetaga joylashtirilib, bir necha soat vaqt o`tgash uning muvozanat holati yuzaga keladi. 15-rasmda mikroskopda turli  $h$  chuqurliklarda olingan manzaralar keltirilgan.



15-rasm. Perren tajribalari uchun.

O`lchashlar, (1) formulaga kiruvchi barcha kattaliklarni beradi, bundan N.Avogadro sonini topish mumkin.

Dastlab, Perren o`tkazgan tajribalar natijasi hozirgi natijalardan ancha farq qilgan, chunki idish devorlari ta`siri e`tiborga olinmagan. Keyinchalik bu ta`sir e`tibor olinib, natija aytarli darajada bo`lgan.

Avogadro sonini topishda Perren tomonidan taklif etilgan usul **Broun harakatini** kuzatishga asoslangan. Bunda molekulalar o`rtacha energiyasi  $\frac{3}{2}kT$  Broun zarralarining o`rtacha energiyasi  $\frac{m v^2}{2}$  ga tenglashtirilib, osongina N.Avogadro sonini topish mumkin, ammo amalda zarralar o`rtacha tezligi  $v$  ni topib bo`lmaydi. Broun harakati baribir Avogadro sonini topishga imkon beradi. Agar broun zarrachalarini aniq  $\Delta t$  vaqt oralig`ida koordinatadagi holati belgilanib borilsa va olingan nuqtalar

to'g'ri chiziqli bo'lakchalar bilan birlashtirilsa, u holda bo'lakchanning o'rtacha uzunligini topish mumkin. Eynshteyn va Lanjeven ko'rsatdilar,  $\Delta l$  bo'lakchalarning proyeksiyasi bo'lgan o'rtacha uzunlik kvadrati  $\Delta l_x^2$  barcha yo'nalishlarda masalan, x o'qida quyidagi munosabatni qanoatlantiradi.

$$\frac{\Delta l_x^2}{\Delta t} = \frac{Rt}{N 3\pi r \eta} \quad (3)$$

bu yerda  $r$  – Broun zarrasi radiusi,  $\eta$  – Broun zarrasi harakatlanayotgan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsenti. Bu usul  $N$  Avogadro soni uchun aniq qiymatlarni beradi.

Avogadro soni  $N$  boshqa fizik hodisalardan ham, masalan, radioaktiv moddaning yemirilishidan, yorug'likning sochilishidan, absolyut qora jism spektrida energiyaning taqsimlanishi va hokazolardan topish mumkin.

Ko'pchilik hollarda Loshmidt soni  $n_0$  dan, ya'ni normal sharoitda  $1 \text{ sm}^3$  gaz hajmidagi molekular sonidan ham foydalaniladi:

$$n_0 = \frac{N}{22410} = \frac{6,023 \cdot 10^{23}}{22410} = 2,68 \cdot 10^{19}$$

### ***Fluktuatsiya***

Har qanday gaz hajmida bo'lgan  $N^1$  molekular soni doimiy emas. Xaotik issiqlik harakati natijasida  $V$  hajmdan  $\Delta t$  vaqt intervalida  $N^1_1$  molekula chiqib ketsa,  $N^1_2$  molekula kelib qo'shiladi.  $N^1_1$  va  $N^1_2$  kattaliklar umuman bir-biriga teng emas, shuning uchun  $V$  hajmdagi molekular soni doimiy bo'lmay  $N^1$  o'rtacha qiymat oralig'ida bo'ladi. Xuddi shunday  $V$  hajmda gaz zichligi o'zgarib turadi. Ana shu kabi molekular sonining, zichlikning va shunga o'xshash fizik kattaliklarning tartibsiz o'zgarishi ***fluktuatsiya*** deyiladi. Turli fizik hodisalarda fluktuatsiyaning roli juda yuqori. Fluktuatsiyaning miqdoriy o'lchamlari sifatida quyidagi kattaliklar kiritiladi:  $\delta$  nisbiy fluktuatsiya

$$\delta = \frac{\sqrt{(N' - N)^2}}{N'} \quad (1)$$

yoki o'rtacha kvadratik chetlanish, ya'ni dispersiya,

$$\alpha = \overline{\Delta^2} = \overline{(N' - N)^2}$$

$N_1$  ning yuqori qiymatlarida, Smoluxovski ko'rsatganidek,

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{N'}} \quad (2)$$

Endi qanday hajmda va qanday gaz molekular sonida ***nisbiy fluktuatsiya*** belgilangan qiymatga, ya'ni 1% ga teng bo'lishini

hisoblaymiz. Ma`lumki,  $0,01 = \sqrt{\frac{2}{3,14} \cdot \frac{1}{N'}}$ , bundan  $N' = \frac{2}{3,14} \cdot 10^4 = 0,637 \cdot 10^4$ .

Molekulalarning bunday soni normal sharoitda quyidagicha teng hajmni egallaydi:

$$\frac{22410 \cdot 0,637 \cdot 10^4}{6,023 \cdot 10^{23}} = 2,37 \cdot 10^{-16} \text{ sm}^3$$

Gazning katta hajmlarida fluktuatsiya ancha kichik. Molekulalar soni kam, ya`ni bir necha o`n, unga  $10^{-18} \text{ sm}^3$  hajm to`g`ri keladi va molekulalar soni fluktuatsiyasi 10% gacha yetadi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

440 g CO<sub>2</sub> gazdagi molekular sonini hisoblang.

**Berilgan:**

$$m=440 \text{ g}=44 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$M=44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$N_A=6 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

N-?

**Masalaning yechilishi:**

Moddadagi barcha molekular sonini aniqlaydigan formuladan foydalanamiz:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$

Hisoblash:

$$N = 6 \cdot 10^{23} \frac{44 \cdot 10^{-2}}{44 \cdot 10^{-3}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ ta}$$

### 2-masala

27°S temperaturadagi gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 600 m/s. Agar shu temperatura gazning zichligi 1,5 kg/m<sup>3</sup> bo'lsa, uning hajm birligidagi molekular soni qanchaga teng?

**Berilgan:**

$$t^\circ=27^\circ\text{S}; T=300 \text{ K}$$

$$v=600 \text{ m/s}$$

$$\rho=1,5 \text{ kg/m}^3$$

n-?

**Masalaning yechilishi:**

Birlik hajmdagi molekular soni ifodalangan  $p=nkT$  va  $p = \frac{1}{3} \rho v^2$  formulalardan foydalanib, quyidagi ifodani olish mumkin:

$$n = \frac{\rho v^2}{3kT}$$

Hisoblash:

$$n = \frac{1,5 \cdot 600^2}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 4,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

### 3-masala

Gazning temperaturasi  $27^{\circ}\text{S}$  dan  $47^{\circ}\text{S}$  ga aortganida bosimi 20 kPa ga ortgan. Gazning boshlang'ich bosimini aniqlang.

**Berilgan:**

$$t_1^{\circ}=27^{\circ}\text{S}; T_1=300 \text{ K}$$

$$t_2^{\circ}=47^{\circ}\text{S}; T_2=320 \text{ K}$$

$$p=20 \text{ kPa}$$

$$p_1=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Sharl qonunidan foydalanamiz:  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ , bunda  $p_2=p_1+\Delta p$  ga teng. U

holda  $p_1 = \frac{\Delta p T_1}{T_2 - T_1}$  ifodaga ega bo'lamiz.

Hisoblash:

$$p_1 = \frac{20 \cdot 300}{320 - 300} = 300 \text{ kPa}$$

### 4-masala

2 g azot 2 atm. bosim ostida  $820 \text{ sm}^3$  hajmni egallasa, uni harorati qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$P=2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$m=2 \text{ g}=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V=82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\mu=28 \text{ kg/mol}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

bundan  $T$  ni topamiz

$$T = \frac{PV \mu}{mR}$$

Hisoblaymiz:

$$T = \frac{PV \mu}{mR} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 82 \cdot 10^{-5} \cdot 28}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 280 \text{ K}$$

### 5-masala

20<sup>0</sup>S haroratda 760 millimetr simob ustuni bosimda 10 g kislorod qanday hajmni egallaydi?

**Berilgan:**

$$m=10 \text{ g}=10^{-2} \text{ kg}$$

$$T=20^0\text{S}=293 \text{ K}$$

$$\mu=32 \text{ kg/mol}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$P=10^5 \text{ Pa}$$

$$V=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

bundan V hajmni topamiz

$$V = \frac{mRT}{\mu P}$$

Hisoblaymiz:

$$V = \frac{mRT}{\mu P} = \frac{10^{-2} \cdot 8,31 \cdot 293}{32 \cdot 10^5} = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ l}$$

### 6-masala

Sig'imi 12 litr bo'lgan ballonda 8,1·10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup> bosim va 17<sup>0</sup>S haroratda azot to'ldirildi. Ballonda qancha azot bor?

**Berilgan:**

$$P=8,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$V=12 \text{ litr}=12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T=17^0\text{S}=290 \text{ K}$$

$$\mu=28 \text{ kg/mol}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$m=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

yoki



$$PV\mu = mRT$$

bundan  $m$  ni topamiz

$$m = \frac{PV\mu}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$m = \frac{8.1 \times 10^6 \cdot 12 \times 10^{-3} \times 28}{8.31 \times 290} = 1.13 \text{ kg}$$

### 7-masala

Og'zi mahkam berkitilgan shishadagi havoning  $7^{\circ}\text{S}$  haroratda bosimi 1 atm. Shisha isitilganda havo bosimi 1,3 atm.ga yetganda tiqin otilgan. Shisha qanday haroratgacha isitilganligi topilsin.

**Berilgan**

$$T_1 = 7^{\circ}\text{S} = 280 \text{ K}$$

$$P_1 = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 130 \text{ kPa} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Hajm o'zgarmas ( $V = \text{Const}$ ) bo'lganda muayyan gaz massasining bosimi absolyut haroratga to'g'ri mutanosibdir (Sharl qonuni):

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

bundan  $T_2$  ni topamiz

$$T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1}$$

Hisoblaymiz:

$$T_2 = \frac{1,3 \cdot 10^5 \cdot 280}{10^5} = 364 \text{ K}$$

### 8-masala

6,4 kg kislorod sig'adigan ballon devori  $20^{\circ}\text{S}$  haroratda  $160 \text{ kG/sm}^2$  bosimga chidasa, uning eng kichik hajmi qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$m = 6,4 \text{ kg}$$

$$t = 20^{\circ}\text{S} = 293 \text{ K}$$

$$P = 160 \text{ kG/sm}^2 = 15,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\mu = 32 \text{ kg/mol}$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

V=?

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

yoki

$$PV\mu = mRT$$

bundan V ni topamiz

$$V = \frac{mRT}{P\mu}$$

Hisoblaymiz:

$$V = \frac{6,4 \times 8,31 \times 293}{15,7 \times 10^6 \times 32} = 3,2 \times 10^{-4} m^3$$

**9-masala**

Ballonda  $10^7 \text{ N/m}^2$  bosim ostida 10 kg gaz bo'lgan. Ballondagi bosim  $2,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  ga teng bo'lishi uchun ballondan qancha miqdor azot olish kerak? Azotning harorati o'zgarmas deb hisoblansin.

**Berilgan:**

$$P_1 = 10 \text{ MPa} = 10^7 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 2,5 \text{ MPa} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$m_1 = 10 \text{ kg}$$

$$m_2 = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Muayyan gaz massasi gazning bosimiga to'g'ri mutanosibdir, ya'ni

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

bundan  $m_2$  ni topsak,

$$m_2 = \frac{m_1 P_2}{P_1}$$

Hisoblaymiz:

$$m_2 = \frac{10 \times 2,5 \times 10^6}{10^7} = 2,5 \text{ kg} .$$

**10-masala**

$27^0\text{S}$  haroratda 760 millimetr simob ustuni bosimda 25 litr oltingugurt gazi ( $\text{SO}_2$ ) ning massasi topilsin.

**Berilgan:**

$$\mu = 64 \text{ kg/mol}$$

$$T = 27^{\circ}\text{S} = 300 \text{ K}$$

$$V = 25 \text{ l}$$

$$P = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$m = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

yoki

$$PV\mu = mRT$$

bundan  $m$  ni topamiz,

$$m = \frac{PV\mu}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$m = \frac{10^6 \times 25 \times 10^{-3} \times 64}{8,31 \times 300} = 0,065 \text{ kg}$$

**11-masala**

Balandligi 5 metr va polining yuzi  $200 \text{ m}^2$  bo'lgan auditoriyadagi havoning massasi topilsin. Havo harorati  $17^{\circ}\text{S}$ , bosimi 750 millimetr simob ustuniga teng. (Bir kilomol havoning massasi  $29 \text{ kg/mol}$  deb olinsin).

**Berilgan:**

$$h = 5 \text{ m}$$

$$S = 200 \text{ m}^2$$

$$P = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 17^{\circ}\text{S} = 290 \text{ K}$$

$$\mu = 0,029 \text{ kg/mol}$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$m = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

yoki

$$PV\mu = mRT$$

bundan  $m$  ni topamiz,

$$m = \frac{PV\mu}{RT}$$

va

$V = Sh = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ m}^3$  ekanligini e'tiborga olamiz.

Hisoblaymiz:

$$m = \frac{10^{-5} \times 1000 \times 0,029}{8,31 \times 290} = \frac{29 \times 10^{-5}}{8,31 \times 290} = 1,2 \text{ t}$$

### 12-masala

1)  $0^{\circ}\text{S}$  va 2)  $100^{\circ}\text{S}$  haroratlar uchun 0,5 g vodorodning izotermalari topilsin.

**Berilgan:**

$$m = 0,5 \text{ g} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

$$T_1 = 0^{\circ}\text{S} = 273 \text{ K}$$

$$T_2 = 100^{\circ}\text{S} = 373 \text{ K}$$

$$PV_1 = ?$$

$$PV_2 = ?$$

Masalaning yechilishi:

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

Hisoblaymiz:

$$PV_1 = \frac{5 \times 10^{-4} \times 8,31 \times 273}{2} = 567 \text{ j}$$

$$PV_2 = \frac{5 \times 10^{-4} \times 8,31 \times 373}{2} = 775 \text{ j}$$

### 13-masala

1)  $29^{\circ}\text{S}$  va 2)  $180^{\circ}\text{S}$  haroratlar uchun 15,5 g kislorodning izotermalari topilsin .

**Berilgan:**

$$m = 15,5 \text{ g} = 15,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$T_1 = 29^{\circ}\text{S} = 302 \text{ K}$$

$$T_2 = 180^{\circ}\text{S} = 453 \text{ K}$$

$$PV_1=?$$

$$PV_2=?$$

**Masalaning yechilishi:**

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

Hisoblaymiz:

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 = \frac{15 \cdot 5 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 302}{32} = 1215 \text{ J}$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 = \frac{15 \cdot 5 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 453}{32} = 1823 \text{ J}$$

### 14-masala

Gaz solingan  $10 \text{ m}^3$  hajmli ballonda  $17^\circ\text{S}$  harorat va  $720 \text{ mm}$ . simob ustuni bosimda qancha miqdorda kilomol gaz bo'ladi?

**Berilgan:**

$$V=10 \text{ m}^3$$

$$P=720 \text{ mm. simob ustuni}=96 \text{ kPa}$$

$$T=17^\circ\text{S}=290 \text{ K}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$v=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

va

$$v = \frac{m}{\mu}$$

ekanligini e'tiborga olsak, u holda

$$PV = vRT$$

bo'ladi, bundan

$$v = \frac{PV}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$v = \frac{96 \cdot 10^3 \cdot 10}{8,31 \cdot 290} = 400 \text{ mol}$$

### 15-masala

50<sup>0</sup>S haroratda to'yingan suv bug'ining elastikligi 92,5 mm. simob ustuniga teng bo'lsa, bu bug'ning zichligi nimaga teng?

**Berilgan:**

$$T=50^{\circ}\text{S}=323\text{ K}$$

$$P=92,5\text{ mm. simob ustuni}=12,3\cdot 10^3\text{ Pa}$$

$$\mu=18\text{ kg/mol}$$

$$\rho=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ;$$

bu yerda,

$$m = \rho \cdot V$$

va

$$V = \frac{m}{\rho}$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\rho = \frac{p \mu}{RT}$$

bo'ladi.

Hisoblaymiz:

$$\rho = \frac{p \mu}{RT} = \frac{12,3 \times 10^3 \times 18}{8,31 \times 323} = 0,083\text{ kg / m}^3$$

### 16-masala

15<sup>0</sup>S harorat va 730 mm. simob ustuni bosimidagi vodorodning zichligi topilsin?

**Berilgan:**

$$T=15^{\circ}\text{S}=298\text{ K}$$

$$P=730\text{ mm. simob ustuni}=97,3\cdot 10^3\text{ Pa}$$

$$\mu=2\text{ kg/mol}$$

$$\rho=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ;$$

bu yerda,

$$m = \rho \cdot V$$

va

$$V = \frac{m}{\rho}$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}$$

bo'ladi.

Hisoblaymiz:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT} = \frac{97,3 \times 10^3 \times 2}{8,31 \times 10^3 \times 298} = 0,081 \text{ kg / m}^3$$

### **17-masala**

$10^0\text{S}$  harorat va  $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bosimdagi biror gazning zichligi  $0,34 \text{ kg/m}^3$  ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?

**Berilgan:**

$$T = 10^0\text{S} = 283 \text{ K}$$

$$P = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 200 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$\rho = 0,34 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ;$$

bundan,

$$\mu = \frac{\rho RT}{P}$$

Hisoblaymiz:

$$\mu = \frac{\rho RT}{P} = \frac{0,34 \times 8,31 \times 10^3 \times 283}{2 \times 10^5} = 4 \text{ kg / kmol}$$

### **18-masala**

Hozirgi zamon laboratoriya usullari bilan idishdagi havo so'rib olinib ( $P = 1,33 \cdot 10^{-9} \text{ kPa}$ ), u juda yaxshi siyraklashtirilgan bo'lsa, idishdagi havoning zichligi nimaga teng? Havoning harorati  $T = 15^0\text{S}$  ga teng.

**Berilgan:**

$$P=1,33 \cdot 10^{-9} \text{ kPa}$$

$$T=15^{\circ}\text{S} = 288 \text{ K}$$

$$\rho=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi) ni yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ;$$

bu yerda,

$$m=\rho \cdot V$$

va

$$V=\frac{m}{\rho}$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\rho = \frac{P \mu}{RT}$$

bo'ladi.

Hisoblaymiz:

$$\rho = \frac{P \mu}{RT} = \frac{1.33 \times 10^{-9} \times 0.029}{8.31 \times 288} = 1.6 \times 10^{-14} \text{ kg / m}^3$$

**19-masala**

$7^{\circ}\text{S}$  haroratli 12 g gaz  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  hajmni egallaydi. Gaz o'zgarmas bosimda isitilganda uning zichligi  $6 \cdot 10^{-4} \text{ g/sm}^3$  ga teng bo'lib qolgan. Gaz qanday haroratgacha isitilgan?

**Berilgan:**

$$m=12 \text{ g}=12 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V=4 \text{ l}=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T_1=7^{\circ}\text{S}=280 \text{ K}$$

$$\rho=6 \cdot 10^{-4} \text{ g/sm}^3=0,6 \text{ kg/m}^3$$

$$T_2=?$$

Hisoblaymiz:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V_1 = \frac{m}{\rho} = \frac{12 \times 10^{-3}}{0.6} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$



## 20-masala

10 g kislorod  $10^0\text{S}$  harorat va 3 atmosfera bosimda turibdi .U o'zgaras bosimda qizdirilgandan so'ng kengayib, 10 l hajmni egallaydi. Gazning 1) kengaygandan oldingi hajmi, 2) kengaygandan keyingi harorati, 3) kengayishdan oldingi zichligi va 4) kengaygandan keyingi zichligi topilsin.

### Berilgan:

$$m=10 \text{ g}=10^{-2} \text{ kg}$$

$$P=3 \text{ atm.}=304 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$T_1=10^0\text{S}=283 \text{ K}$$

$$V_2=10 \text{ l}=10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\mu=32 \text{ kg/mol}$$

$$V_1=?$$

$$T_2=?$$

$$\rho_1=?$$

$$\rho_2=?$$

### Masalaning yechilishi:

Gazning kengayishdan oldin va keyingi holatlari uchun Mendeleyev-Klaapeyron tenglamasini yozamiz

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 ;$$

$$P_2 V_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

Shart bo'yicha:  $P=P_1=P_2$

Hisoblaymiz:

$$V_1 = \frac{mRT_1}{\mu P} = 2.4 \text{ l}$$

$$T_2 = \frac{\mu P V_2}{mR} = 1170 \text{ K}$$

$$\rho = \frac{\mu P}{RT_1} = 4.14 \text{ kg / m}^3 ;$$

$$\rho_2 = \frac{\mu P}{RT_2} = 1 \text{ kg / m}^3$$

## 21-masala

Sig'imi  $1 \text{ m}^3$  bo'lgan berk idishda 0,9 kg suv va 1,6 kg kislorod bor.  $500^0\text{S}$  haroratda suvning to'liq bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, bu haroratda idishdagi bosim topilsin.

**Berilgan:**

$$V=1 \text{ m}^3$$

$$m_1=1,6 \text{ kg}$$

$$m_2=0,9 \text{ kg}$$

$$T=500^\circ\text{S}$$

$$P=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Dalton qonuni bo'yicha,

$$P_1+P_2=P$$

$P_1$ -kislород bosimi,  $P_2$ -suv bug'i bosimi.

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan  $P_1$  va  $P_2$  ni topamiz:

$$P_1 = \frac{m_1 RT}{V \mu_1}$$

$$P_2 = \frac{m_2 RT}{V \mu_2}$$

Hisoblaymiz:

$$P_1 = \frac{m_1 RT}{V \mu_1} = 320 \text{ kPa} ;$$

$$P_2 = \frac{m_2 RT}{V \mu_2} = 320 \text{ kPa}$$

$$P = P_1 + P_2 = 640 \text{ kPa}$$

**22-masala**

$V_1=3$  l sig'imli A idishda  $p_0' = 2$  atmosfera bosimda gaz bor.  $V_2=4$  l sig'imli B idishda  $p_0'' = 1$  atmosfera bosimda xuddi o'sha gaz bor. Ikkala idishda ham haroratlar bir xil. Ikkala idish naycha bilan tutashtirilsa, gaz bosimi qanday bo'ladi ?

**Berilgan:**

$$V_1=3 \text{ l} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P_0' = 2 \text{ atm.} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_0'' = 1 \text{ atm.} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_2=4 \text{ l} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Harorat o'zgarmas bo'lganda ( $T=\text{Const}$ )

$$P_0'(V_1+V_2) = P_1 V_1;$$

$$P_0''(V_1+V_2) = P_2 V_2$$

bundan  $P_0'$  va  $P_0''$  ni topamiz:

$$P_0' = \frac{P_1 V_1}{V_1 + V_2};$$

$$P_0'' = \frac{P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

Hisoblaymiz:

$$P = P_0' + P_0'' = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2} = 140 \text{ kPa}$$

### 23-masala

$2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  hajmli idishda 6 g karbonat angidrid ( $\text{CO}_2$ ) va 5 g azot (I) oksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) bilan to'ldirilgan.  $127^\circ\text{S}$  haroratda idishdagi umumiy bosim qanday?

**Berilgan:**

$$V = 2 \text{ l} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_1 = 6 \text{ g} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_2 = 5 \text{ g} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$T = 127^\circ\text{S} = 400 \text{ K}$$

$$\mu(\text{CO}_2) = 64 \text{ g/mol}$$

$$\mu(\text{NO}_2) = 44 \text{ g/mol}$$

$$P = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan  $P_1$  va  $P_2$  ni topamiz:

$$P_1 = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} = 226,6 \text{ Pa}$$

$$P_2 = \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = 188,8 \text{ Pa}$$

Dalton qonuni bo'yicha:

$$P_1 + P_2 = P$$

$P_1$ -karbonat angidrid bosimi,  $P_2$ -azot (I) oksidi bosimi

Hisoblaymiz:

$$P = P_1 + P_2 = 22,6 + 188,8 = 415,4 \text{ Pa}$$

### 24-masala

Normal sharoitda havo to'ldirilgan idishga dietil efiri ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ ) yuborilgan. Hamma efir bug'lanib ketgandan keyin, idishda bosim 1050 mm. sim. ust.ga teng bo'lib qoldi. Idishda qanday miqdorda efir yuborilgan. Idishning hajmi  $V = 2 \text{ l}$ .

**Berilgan:**

$$P=0,14 \text{ MPa}=1,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V=2 \text{ l}=2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\mu=74 \text{ kg/mol}$$

$$m=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan foydalanib,

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$m$  ni topamiz:

$$m = \frac{PV \mu}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$m = \frac{PV \mu}{RT} = \frac{1,4 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-3} \times 74}{8,31 \times 273} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

**25-masala**

17<sup>0</sup>S haroratda va 750 mm. sim. ust. bosimda 80 m<sup>3</sup> hajmli uyda qancha havo molekullari bo'ladi?

**Berilgan:**

$$V=80 \text{ m}^3$$

$$t=17^0\text{S}$$

$$P=100 \text{ kPa}=10^5 \text{ Pa}$$

$$N=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini yozamiz:

$$P=nkT$$

bundan, molekular konsentratsiyasi  $n$  ni topamiz:

$$n = \frac{N}{V}$$

va

$$PV = NkT$$

bo'ladi, bundan  $N$  quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = \frac{PV}{kT}$$

Hisoblaymiz:

$$N = \frac{PV}{kT} = \frac{10^5 \times 80}{1,38 \times 10^{-23} \times 290} = 2 \cdot 10^{27} \text{ ta}$$

## 26-masala

Hozirgi zamon laboratoriya usullari bilan idishdagi havo so'rib olinib, u juda siyraklashtirilgan ( $P=10^{-11}$  mm. sim. ust.) bo'lsa,  $10^0\text{S}$  haroratda idishning har  $1\text{ sm}^3$  hajmida nechta molekula bo'ladi?

### Berilgan:

$$t=10^0\text{S}=283\text{ K}$$

$$P=1,33 \cdot 10^{-9}\text{ Pa}$$

$$n=?$$

### Masalaning yechilishi:

Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini yozamiz:

$$P=nkT$$

bundan, molekular konsentratsiyasi  $n$  ni topamiz:

$$n = \frac{P}{kT}$$

Hisoblaymiz:

$$n = \frac{P}{kT} = \frac{1,33 \times 10^{-9}}{1,38 \times 10^{-23} \times 283} = 3,14 \times 10^{-11}\text{ m}^{-3}$$

## 27-masala

Havoni bir kilomolining massasi  $\mu=29\text{ kg/mol}$  ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblab,  $17^0\text{S}$  haroratda havo molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

### Berilgan:

$$T=17^0\text{S}=290\text{ K}$$

$$\mu=0,029\text{ g/mol}$$

$$R=8,31$$

$$v_{kv}=?$$

### Masalaning yechilishi:

Molekular o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozamiz:

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

va bu formulaga berilgan qiymatlarni qo'yib,

Hisoblaymiz:

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,31 \times 290}{0,029}} = 500\text{ m/s}$$

## 28-masala

Bir xil haroratdagi geliy va azot molekullari o'rtacha kvadratik tezliklarining nisbati topilsin

**Berilgan:**

$$T=273 \text{ K}$$

$$\mu_{\text{geliy}}=4 \text{ kg/mol}$$

$$\mu_{\text{azot}}=14 \text{ kg/mol}$$

$$v_{kv}=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Molekulalar o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozamiz:

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

bu formuladan geliy va azot molekullarining o'rtacha kvadratik tezliklarini topamiz:

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 273}{4}} = 1701 \text{ .4;}_{\text{geliy}}$$

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 273}{14}} = 486 \text{ .13;}_{\text{azot}}$$

bu tezliklar nisbatini

Hisoblaymiz:

$$\frac{\text{geliy } v_{kv}}{\text{azot } v_{kv}} = 2.65$$

## 29-masala

Atom bombasi qancha portlash paytida harorat  $10^7$  K gradusgacha ko'tariladi. Bunday haroratda hamma molekullarni atomlarga dissotsiatsiyalangan, atomlarni esa ionlashgan deb hisoblab, vodorod ionining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

**Berilgan:**

$$T=10^7 \text{ K}$$

$$\mu=2 \text{ kg/mol}$$

$$v=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Molekulalar o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozamiz:

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

bu formuladan vodorod molekularining o'rtacha kvadratik tezligini

Hisoblaymiz:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 10^7}{0.002}} = 3,5 \times 10^5 \quad m/s$$

### 30-masala

Agar 200 mm. sim. ust. bosimda vodorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/sek ga teng bo'lsa, bu sharoitda 1 sm<sup>3</sup> hajmdagi vodorod molekularining soni topilsin.

**Berilgan:**

$$P=266,6 \text{ Pa}$$

$$v_{kv}=2400 \text{ m/s}$$

$$\mu=2 \text{ kg/mol}$$

$$n=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gaz molekulari haroratining molekular kinetik energiyasiga bog'liqlik formulasini yozamiz:

$$P = n \frac{mv^2}{3}$$

bundan,  $m$  ning

$$m = \frac{\mu}{N_A}$$

ekanligini e'tiborga olib, yuqoridagi formuladan molekular konsentratsiyasini topamiz:

$$n = \frac{3PN_A}{v_{kv}\mu}$$

Hisoblaymiz:

$$n = \frac{3PN_A}{v_{kv}\mu} = \frac{3 \times 266,6 \times 6.02 \times 10^{23}}{(2400)^2 \times 0.002} = 4.2 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$$

### 31-masala

Biror gazning zichligi  $6 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$  ga, molekularining o'rtacha kvadratik tezligi esa 500 m/s ga teng gazning idish devoriga ta'sir qilgan bosimi topilsin.

**Berilgan:**

$$\rho=0,06 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{kv}=500 \text{ m/s}$$

$$P=?$$

### **Masalaning yechilishi:**

Gaz molekulasi o'rtacha kvadratik tezligining bosimga bog'liqlik formulasini yozamiz:

$$v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

bu formuladan gaz bosimini topamiz:

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2$$

Hisoblaymiz:

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2 = \frac{0,06 \times (500)^2}{3} = 5000 \text{ Pa}$$



## **II. BO'LIM**

### **TERMODINAMIKANING I-QONUNI**

#### ***Termodinamikaning asosiy tushunchalari***

Termodinamika bitta yoki bir nechta molekulalar bilan bo'ladigan hodisalarni organmay, balki ularning yig'indisidan iborat bo'lgan makroskopik sistemalarning xossalari o'rganadi.

Jismlar majmuasidan tashkil topgan va tashqi ta'sirda bo'lishi mumkin bo'lgan sistema **termodinamik sistema** deyiladi. Sistema ma'lum bir makroskopik jismdan yoki juda ko'p molekulalardan tashkil topgan bo'lishi mumkin.

Agar sistema tashqi muhitdagi jismlar bilan energiya almashinishda bo'lmasa, bunday sistema **izolyatsiyalangan** yoki **yopiq** sistema deyiladi. Bunday sistemalarni albatta vujudga keltirib bo'lmaydi, lekin biz sistemani issiqlikni yomon o'tkazadigan yoki adiabatik qobiqqa joylashtirsak, unda sistema atrofidagi jismlar bilan hisobga olinmaydigan darajada energiya almashuvda bo'ladi. Turmushda ko'p qo'llaniladigan termoslar va Dyuar idishlari adiabatik qatlamga ega. Bu shishadan yoki metallardan yasalgan ikkita devorga ega bo'lgan ballonlar, bu devorlar orasidagi havo so'rib olingan, ya'ni vakuum hosil qilingan.

Sistemaning holatini tavsiflaydigan fizik kattaliklar, masalan bosim, harorat, hajm, zichlik va boshqalar **termodinamik parametrlar** deyiladi.

Agar termodinamik sistemaning holatini ifodalovchi termodinamik parametrlar vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, masalan gazning bosimi ( $P=const$ ), harorati ( $T=const$ ), hajmi ( $V=const$ ) o'zgarmas bo'lsa, sistema **termodinamik muvozanatda** bo'ladi.

Agar bir xil haroratli ikkita sistema bir-biriga tekkizilsa, tajribadan ma'lumki, issiqlik bir sistemadan ikkinchi sistemaga o'tmaydi va bu tegib turgan sistemalarning harorati o'zgarmaydi. Demak, termodinamik sistemalar muvozanatligicha qolaveradi.

Biror berk suyuqlik va bug' oprasidagi muvozanatni ko'rib chiqaylik. Agar vaqt birligi ichida suyuqlikdan ajralib chiqqan molekulalar soni bug'dan suyuqlikka qaytgan molekulalar soniga teng bo'lganda suyuqlik va uning bug'i orasidagi termodinamik muvozanat vujudga keladi. Bug' to'yinadi va bundan keyin sistemada hech qanday mikroskopik o'zgarishlar bo'lmaydi, bosim va harorat o'zgarmay qoladi.

Termodinamik sistemaning tashkil qilgan zarralar soni juda ko'p bo'lganda va uning holatini ifodalovchi parametrlar o'zgarmas bo'lsa, sistemani termodinamik muvozanatda deb qarash mumkin.

### ***Issiqlik va ish orasidagi bog'lanish. Issiqlikning mexanik ekvivalenti***

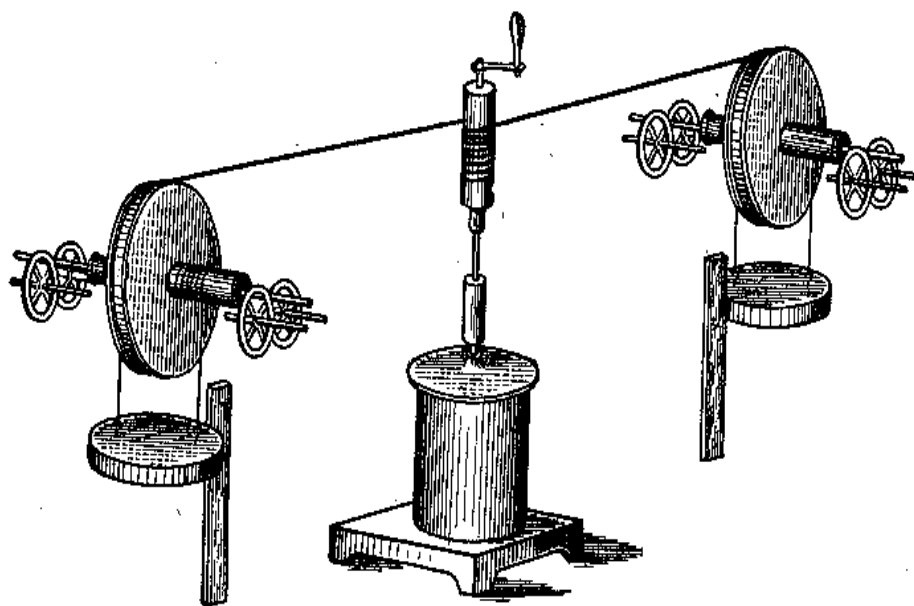
XIX asrning o'rtalarigacha issiqlik tog'risidagi bilimlarda XVIII asrning boshlarida Volf tomonidan yaratilgan ***teplorod*** nazariyasi hokimik qildi. Bu nazariyaga asosan issiqlik – bu vaznsiz teplorod, uning oshishi jism haroratini ko'tarilishiga olib kelsa, teplorodning kamayishi esa jism haroratining pasayishiga olib keladi. O'sha vaqtlarda fizikada ana shunday vaznsiz suyuqliklar katta rol o'ynagan edi. Unda ikkita elektr suyuqliklari, ikkita magnit suyuqliklar, teplorod va hokazolar qaralgan edi. Teplorod nazariyasiga birinchi bo'lib M.Lomonosov qarshi chiqib, ***issiqlikning mexanik nazariyasini taklif etdi***. Issiqlikning mexanik nazariyasiga asosan, issiqlik hodisalari molekulalar harakati hisobiga yuzaga keladi. Hattoki, termodinamikaning asoschisi bo'lgan Karno ham teplorod nazariyasidan foydalangan, faqat oxirgi vaqtlarda esa issiqlikning mexanik nazariyasiga o'tgan. Teplorod nazariyasini olib tashlash uchun uni isbotlash zarur edi, chunki ***issiqlik ish bajarilishi natijasida yuzaga keladi***. 1798-yilda Rumford tajriba o'tkazib, issiqlikning mexanik nazariyasini yetarlicha isbotlagan edi. Unda u burg'ulash natijasida ajralib chiqqan issiqlik miqdori burg'ulash uchun sarflangan ishga mutanosib ekanligini ta'kidlagan.

Rumford tajribasidan bir yildan keyin Devi, keyinroq V.Petrov ikkita muz bo'lakchalarini olib, birinchi muz bo'lakchasi harorati undan pastroq bo'lgan ikkinchi muz bo'lakchasiga ishqalanganda erishini kuzatdilar, muz havosiz fazoda va tashqi issiqlik almashinisiz holatda qo'yilgan edi. Yuqorida o'tkazilgan tajribalar teplorod nazariyasini butunlay yo'qolishiga olib kelmadi. Issiqlikning mexanik nazariyasi to'la o'rnatilgandan so'ng, 1840- yillardan boshlab issiqlik energiyasining saqlanishi va aylanishi qonuni energiyaning bir turi sifatida qarala boshlandi. Ya'ni issiqlik va ish orasidagi miqdoriy aloqa – issiqlikning mexanik ekvivalenti yaratildi.

Teplorod nazariyasida issiqlik miqdorining birligi ***sifatida kaloriya*** – ya'ni ***bir kub santimetr kubdagi toza suv haroratini bir 1<sup>0</sup>S.ga (19,5<sup>0</sup>S. dan 20,5<sup>0</sup>S. gacha) ko'tarish uchun berilgan issiqlik miqdori qabul qilingan. Sarflangan energiyaning, ya'ni to'la issiqlikga aylanayotgan energiyaning olingan issiqlik miqdoriga nisbati issiqlik mexanik***

*ekvivalenti deb nomlandi.* Issiqlikning mexanik ekvivalentiga teskari mutanosib bo'lgan kattalikka ishning termik koeffitsiyenti deb aytiladi. Issiqlikning mexanik ekvivalenti  $J/kall.$  larda o'lchaniladi. Ish va issiqlik ekvivalentining yaratilishida Robert Mayer katta o'rin tutadi. Bo'lajak vrach, Mayer odamlardagi qon tarkibining o'zgarishi harorati yuqori bo'lgan joylarda kuzatilishini aytdi. Harorati past bo'lgan joylardagi odamlarning qoniga nisbatan harorati issiq bo'lgan joylardagi odamlarning qonida oksidlovchi mahsulotlar kam bo'ladi. Shu va shunga o'xshash kuzatishlarga asoslanib, Mayer ish va issiqlikning o'zaro almashinuvi va ekvivalentligi to'grisidagi xulosaga keldi. Nazariy tavsifga ega bo'lgan Mayerning ishlari zamondoshlari uchun tushunarsiz edi. Doimiy bosim va doimiy hajmda gazlar issiqlik sig'imlari orasidagi bog'lanishni beruvchi Mayer tenglamalari issiqlikning mexanik ekvivalenti uchun deyarli aniq qiymatlarni beradi, ya'ni  $36,7 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{kall}$  (aniq qiymat  $427 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{kall}$ ).

Aniq tajriba 1848-yilda Joul tomonidan o'tkazilgan. Joul suvli kalorimetrda tushayotgan yukni aylantirib, sarflangan ish va ajralgan issiqlikni hisobladi va bu tajriba issiqlikning mexanik ekvivalentini hisoblashga imkon yaratdi. Joul tajribasining qurilmasi 1-rasmda keltirilgan.



*1-rasm. Joul tajribasi qurilmasi.*

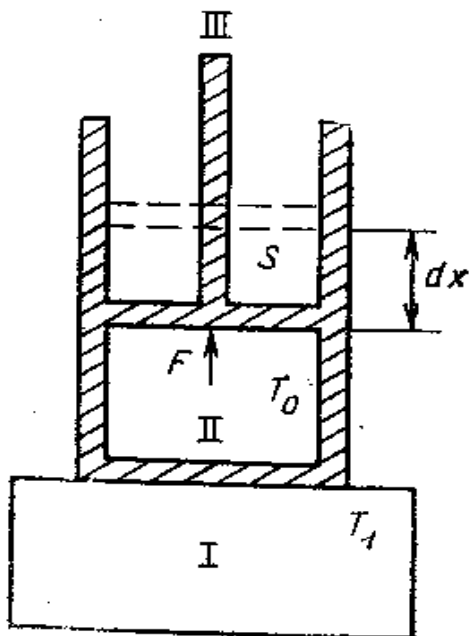
### ***Termodinamikaning birinchi qonuni***

Termodinamikaning birinchi qonuni – ***bu issiqlik jarayonlarida energiyaning aylanish va saqlanish qonunidir.***

Har qanday termodinamik sistema holatining o'zgarishi, bu sistemaning ish bajarishi yoki tashqi kuchlarning bu sistema ustidan ish

bajarishi bilan bo'ladi. Bundan tashqari, termodinamik sistemaga biror issiqlik miqdori berib yoki undan olganda ham sistemaning holati o'zgaradi.

Biror termodinamik sistemani, masalan silindr va harakatlanuvchi porshen ostidagi gazni olaylik. Bu sistemaning ichki energiyasini  $U$  deb belgilaylik (2-rasm).



2-rasm.

Sistema atrofidagi jismlar bilan energiya almashinuvida bo'lsa, uning ichki energiyasi  $\Delta U$  miqdorga o'zgaradi.

Agar kuzatilayotgan  $T_0$  haroratli II sistema boshqa  $T_1$  haroratli I sistemaga tekizlilsa ( $T_1 > T_0$ ), unda kuzatilayotgan I termodinamik sistemaga  $\Delta Q$  issiqlik miqdori uzatiladi. Bunda I sistemaning ichki energiyasi  $\Delta U$  miqdorga ortadi va sistemaning holati o'zgaradi, hamda uning hajmi ortadi va tashqi sistemalarni (III) mexanik harakatga keltiradi. Bu holatda II termodinamik sistema, tashqi kuchlarga (jismlarga) nisbatan  $\Delta A$  ish bajariladi. Unda energiyaning saqlanish qonunini quyidagi ko'rinishda yozamiz.

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad (1)$$

Bu **termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasidir**. Shunday qilib, termodinamik sistemaga berilgan issiqlik miqdori ( $\Delta Q$ ) uning ichki energiyasi ( $\Delta U$ ) ortishiga va sistemani tashqi atrofdagi sistemalarga nisbatan  $A$  ish bajarishiga sarf bo'ladi.

(1) formulani, cheksiz kichik orttirishlar bilan, ya'ni differensial almashtirsak, unda termodinamikaning birinchi qonuni quyidagicha yoziladi:

$$dQ = dU + dA \quad (2)$$

Endi termodinamik sistema hajmining o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblaymiz. 2-rasmda ko'rsatilganidek, gaz yuzasi  $S$  bo'lgan qo'zgaluvchan porshen bilan berkitilgan silindrga qamalgan bo'lsin. Sistema (gaz) atrofidagi jismlardan  $dQ$  issiqlik miqdori olsin, bu holatda sistema (gaz) ning harorati ortishi natijasida, porshenga tas'ir qilayotgan gaz molekulalarining bosim kuchi ham o'rtadi. Ammo tashqi bosim o'zgarmas bo'lgani uchun porshen  $dx$  masofaga siljib, ya'ni sistemaning hajmi ortadi va gaz bosimi o'zgarmas holda qoladi. Sistema bunda  $dA$  ish bajaradi:

$$dA = Fdx = PSdx \quad (3)$$

Bu yerda  $F = PS$  sistema (gaz) ning porshenga tas'ir qilayotgan kuchi,  $p$ -gazning bosimi.

(3) formulada  $Sdx$  kattalik gaz hajmining  $dV$  ga o'zgarishini beradi, ya'ni

$$dV = Sdx \quad (4)$$

Unda sistemaning hajmi elementar kengayishlarida bajarilgan ish (3)ni quyidagi ko'rinishda yozsak bo'ladi:

$$dA = PdV \quad (3a)$$

Demak, sistema hajmining o'zgarishida bajarilgan ish, gaz bosimi bilan hajm o'zgarishining ko'paytirilganiga teng.

(3a) formulani e'tiborga olsak, u holda termodinamikaning birinchi qonunini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$dQ = dU + PdV \quad (5)$$

$dA$  va  $dQ$  lar jarayon funksiyalaridir,  $dU$  esa to'liq differensialdir. Shu boisdan ichki energiya  $U$  sistema holatini bir qiymatli ravishda aniqlab, **holat funksiyasi** deyiladi.

### ***Ideal gazning ichki energiyasi***

Moddaning ichki energiyasi quyidagi energiyalarning yig'indisidan teng bo'ladi:

a) molekulalar xaotik harakatining kinetik energiyasi -  $U_k$ ;

b) molekulalarni o'zaro ta'sir potensial energiyasi -  $U_p$ ;

c) molekula va atomlarning tebranma harakatining kinetik va potensial energiyasi  $U_T$  dan iborat bo'ladi, ya'ni

$$U = U_k + U_p + U_T$$

Ideal gazda molekularning o'zaro ta'sir kuchlari nolga teng deb qaralganligi uchun ideal gazning ichki energiyasi molekular xaotik harakatining kinetik energiyasi bilan aniqlaniladi.

Ideal gaz molekulasining o'rtacha kinetik energiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlaniladi:

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (1)$$

(1) tenglikni, 1 mol gazdagi zarralar soniga (Avogadro soniga)

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$  ko'paytirsak, u holda 1 mol ideal gazning ichki energiyasi quyidagicha ifodalaniladi.

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT \quad (2)$$

Ixtiyoriy  $m$  massali ideal gazning ichki energiyasi quyidagiga teng

$$U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} RT \quad (3)$$

Demak,  $m$  massali ideal gazning ichki energiyasi faqat haroratga bog'liq bo'lib, bosim va hajmga bog'liq emas. (3) formula bir atomli molekular uchun o'rinli. Agar gaz ko'p atomli molekulalardan tashkil topgan bo'lsa, uning ichki energiyasini hisoblaganda molekular aylanma va tebranma harakatlarining kinetik energiyasini ham hisobga olish kerak. (3) formuladan ko'rinib turibdiki, gazning haroratini o'zgartirsak, uning ichki energiyasi o'zgaradi yoki aksincha. Mexanikadan ma'lumki, energiyaning o'zgarishi bajarilgan ishga teng.

Ish hamma vaqt biror kuch ta'sirida jism ko'chishi (siljishi) ga bog'liq. Ish bajarish jarayonida, sistema energiyasining uzatilishi va aylanishi kuzatiladi.

Ish-harakat tarzining o'zgarishini miqdoriy jihatdan tavsiflaydigan kattalikdir. Demak, gazning haroratini o'zgartirish uchun ish bajarish kerak ekan.

Gazning haroratini o'zgartirishda faqat ish bajarish yo'li bilan emas, balki issiqlik o'tkazuvchanlik va nurlanish yo'llari bilan ham amalga oshirish mumkin. Masalan, har xil haroratdagi termodinamik sistemalar (gaz, suyuqlik va qattiq jismlardan tashkil topgan) kontakt holatga keltirilsa, bu sistemalarning harorati o'zgarishini kuzatamiz.

Bu holatda energiya uzatilish mexanizmi shundan iboratki, bir-biriga tegib turgan sistemalarning zarralari o'zaro to'qnashuvlarda energiya almashinadi, harorati yuqoriroq bo'lgan sistemaning zarralari energiya yo'qotadi, harorati pastroq bo'lgan sistemaning zarralari energiya oladi.

Demak, har xil haroratli sistemalar bir-biriga tekkizilsa, ular bir-biriga o'zaro issiqlik miqdorini beradi yoki oladi deb gapiriladi.

Shunday qilib, issiqlik miqdori bir termodinamik sistemaning ikkinchi termodinamik sistemaga bevosita tekkanida yoki nurlanishida uzatiladigan energiyadir.

### ***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 xossalarini tavsiflash uchun termodinamikada **issiqlik sig'imi** tushunchasi kiritiladi.

**Moddaning haroratini bir gradusga oshirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lgan fizik kattalik moddaning issiqlik sig'imi deyiladi, ya'ni**

$$c = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Moddaning birlik massasi haroratini bir gradusga o'zgartirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lgan fizik kattalik **solishtirma issiqlik sig'imi** deyiladi, ya'ni

$$c = \frac{dQ}{m dT} \quad (2)$$

Bir mol modda haroratini bir gradusga o'zgartirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng bo'lgan fizik kattalik **molyar issiqlik sig'imi** deyiladi, ya'ni

$$c_{\mu} = \mu c = \frac{\mu dQ}{m dT} \quad (3)$$

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,

$$dU = C_{\mu V} \cdot dT \quad (7)$$

(7) dan ko'rinadiki, 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

$$dQ = C_{\mu P} \cdot dT \quad (9)$$

hosil bo'ladi.

(9) va (7) formulalarni e'tiborga olsak, termodinamikaning birinchi qonunini  $dQ = dU + PdV$  quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$C_{\mu P} \cdot dT = C_{\mu V} \cdot dT + PdV \quad (10)$$

(10) dan izobarik jarayonda ideal gazning molyar issiqlik sig'imi

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + \frac{PdV}{dT} \quad (11)$$

bo'ladi. Bir mol ideal gazning 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 gazning molyar issiqlik sig'imi, o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidan universal gaz doimiysicha katta ekan.**

### ***Termodinamika birinchi qonunining izojarayonlarga tatbiqi. Izojarayonlarda gazning bajargan ishi***

Termodinamik sistemaning holatini tavsiflovchi termodinamik parametrlardan (bosim, hajm, harorat) birortasi o'zgarmas bo'lsa, sistemada bo'layotgan jarayonlar **izojarayonlar** deyiladi. Mana shu izojarayonlarga termodinamika birinchi qonuni  $dQ = dU + PdV$  ni tadbiiq qilamiz.

1. **Izobarik jarayonda** gazga berilgan issiqlik miqdori ( $dQ = C_{\mu P} \cdot dT$ ) uning harorati ( $dT$ ) ortishiga, ya'ni ichki

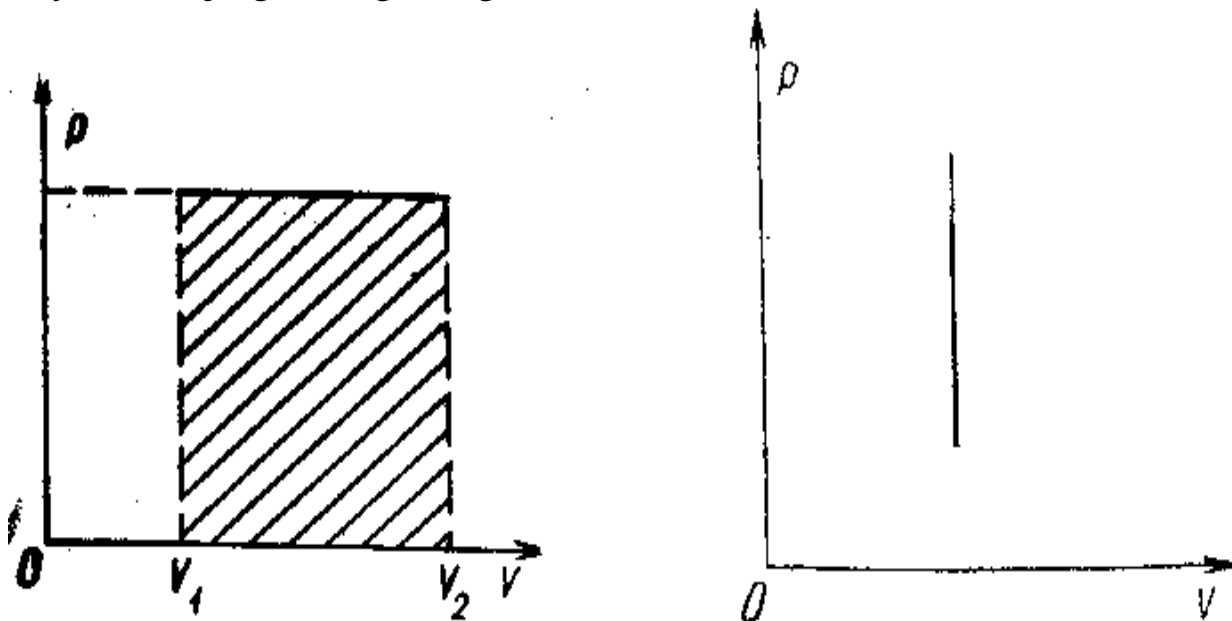


energiyasining ortishiga va gaz kengayishiga bajarilgan ishga sarf bo'lar ekan.

Izobarik jarayonda ( $P=const$ ) gazning bajargan ishi:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) = P \Delta V \quad (1)$$

$V_1$  va  $V_2$  – mos ravishda gazning boshlang'ich va kengaygandan keyingi hajmlari. 3a-rasmda  $P$  va  $V$  koordinatalar sistemasida izobara ko'rtilgan va undagi to'g'ri to'rtburchak yuzasi, son jihatdan izobarik jarayonda bajarilgan ishga teng.



3(a, b)-rasm.

Klaapeyron-Mendeleyev tenglamasi  $PV_\mu = RT$  dan foydalansak, (1) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$A = P(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1) \quad (2)$$

Ixtiyoriy gaz massasi uchun esa:

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) \quad (3)$$

2. **Izoxorik jarayonning** grafigi 3b-rasmda keltirilgan. Bu jarayonda gaz hajmi o'zgarmas bo'lganligi uchun hajmning o'zgarishi esa nolga teng bo'lib, gazning bajargan ishi ham nolga teng, ya'ni

$$dA = p dV = 0 \quad (4)$$

Unda termodinamikaning birinchi qonuni  $dQ = dU + PdV$  ni quyidagicha yozamiz:

$$dQ = dU \quad (5)$$

Demak, **izoxorik jarayonda sistemaga (gazga) berilgan issiqlik miqdori, faqat uning ichki energiyasining oshishiga sarf bo'lar ekan.**

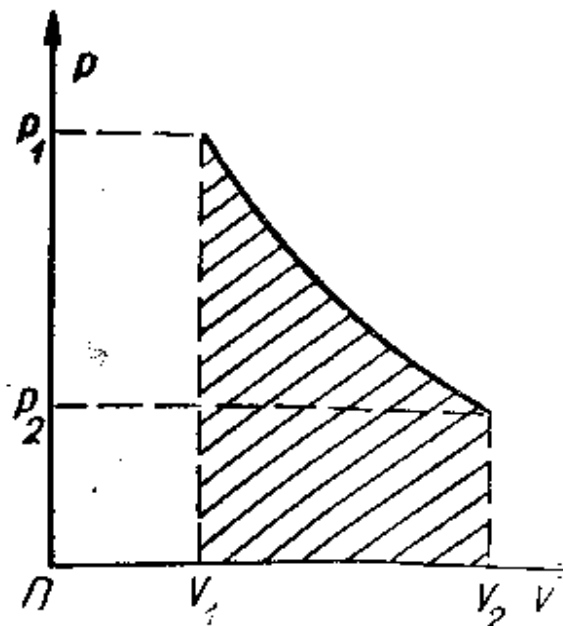
1. **Izotermik jarayon** ( $T=const$ ). Izotermik jarayonning grafigi 4-rasmda keltilgan. Izotermik jarayonda sistemaning harorati o'zgarmas yoki haroratning o'zgarishi ( $dT=0$ ) nolga teng, shuning uchun sistemaning ichki energiyasining o'zgarishini ham nolga teng, ya'ni

$$dU=C_{\mu V}dT=0 \quad (6)$$

Termodinamika birinchi qonuni  $dQ=dU+PdV$  ni izotermik jarayon uchun yozamiz:

$$dQ=dA=pdV \quad (7)$$

Demak, **izotermik jarayonda sistema (gaz) ga berilgan issiqlik miqdori, tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga sarf bo'ladi.**



4-rasm.

Hajmning elementar ( $dV$ ) o'zgarishida bosimni o'zgarmas deb qarashimiz mumkin. U vaqtda bosimning ifodasini  $PV_{\mu}=RT$  Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan qo'ysak (7) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$dA = RT \frac{dV}{V_{\mu}} \quad (7a)$$

Izotermik jarayonda bir mol ideal gaz  $V_{\mu 1}$  hajmdan  $V_{\mu 2}$  hajmgacha kengayishida bajargan ishi

$$A = \int_{V_{1\mu}}^{V_{2\mu}} RT \frac{dV}{V_{\mu}} = Rl \ln \frac{V_{\mu 2}}{V_{\mu 1}} = RT \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (8)$$

Ixtiyoriy gaz massasi uchun (8) yozsak,

$$A = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (9)$$

4-rasmda ko'rsatilgan (*shtrixlangan*) **figuraning yuzi son jihatdan izotermik jarayonda gazning bajargan ishiga teng.**

## Issiqlik sig'iminin klassik nazariyasi

Issiqlik sig'iminin 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:

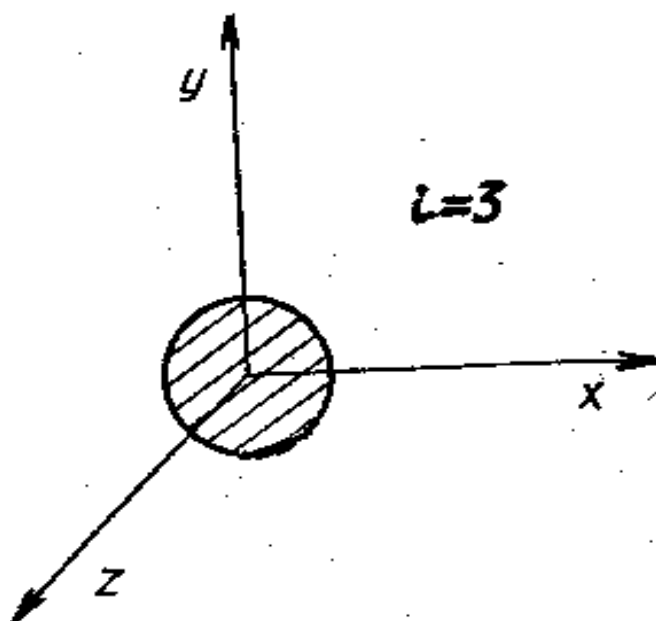
$$K = \frac{m v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (1)$$

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:

$$\overline{\varepsilon} = \frac{\overline{m v_x^2}}{2} = \frac{\overline{m v_y^2}}{2} = \frac{\overline{m v_z^2}}{2} = \frac{1}{2} kT \quad (3)$$



5-rasm.

Shunday qilib, Maksvell-Bolsman nazariyasiga asosan, ixtiyoriy gaz molekulalarining har bir erkinlik darajalariga to'g'ri 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 vaqtda bir atomli ideal gaz molekulasining o'rtacha energiyasi:

$$\bar{E} = i\varepsilon = \frac{i}{2}kT = \frac{3}{2}kT \quad (4)$$

Unda bir mol ideal gazning ichki energiyasi

$$U_{\mu} = N_A \bar{E} = \frac{i}{2} N_A kT = \frac{1}{2} RT \quad (5)$$

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:

$$C_{\mu} = \frac{dU_{\mu}}{dT} = \frac{d\left(\frac{3}{2}RT\right)}{dT} = \frac{3}{2}R \quad (6)$$

Universal gaz doimiysi  $R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$  bo'lgani uchun

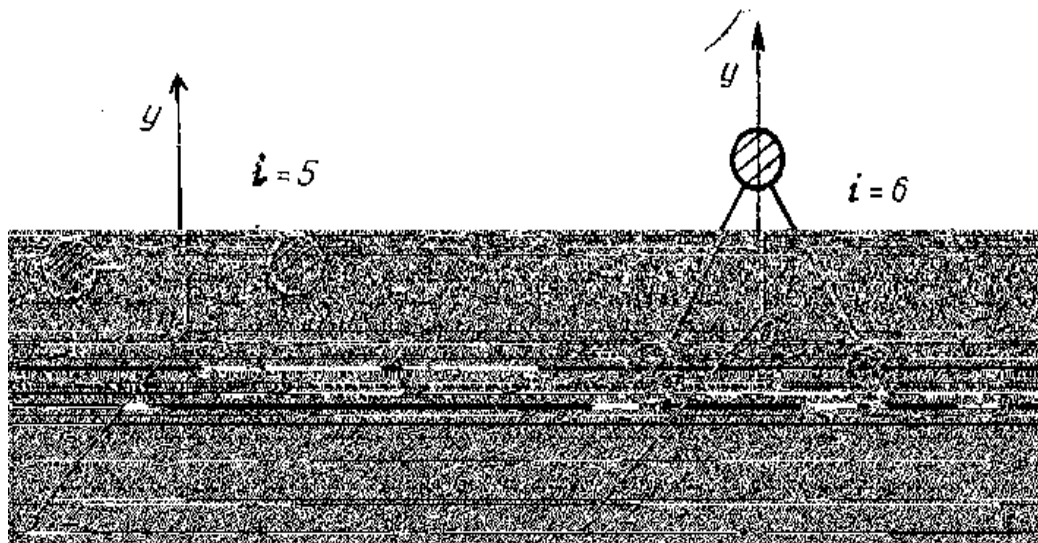
$$C_{\mu V} = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 12,45 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

R.Mayer tenglamasidan foydalanib, o'zgarmas bosimda bir atomli ideal gazning molyar issiqlik sig'imini hisoblaymiz, 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).



6-rasm.

7-rasm.

Ikki atomli gaz molekulasi massasi 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 harakattan iborat erkinlik darajasiga ega. Shuning uchun ikki atomli gaz molekulasi 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-rasmda 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 sig'imini aniqlaymiz ( $V=const, P=const$ ), ya'ni:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{d\left(\frac{6}{2}RT\right)}{dT} = 3R \quad (10)$$

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = 3R + R = 4R \quad (11)$$

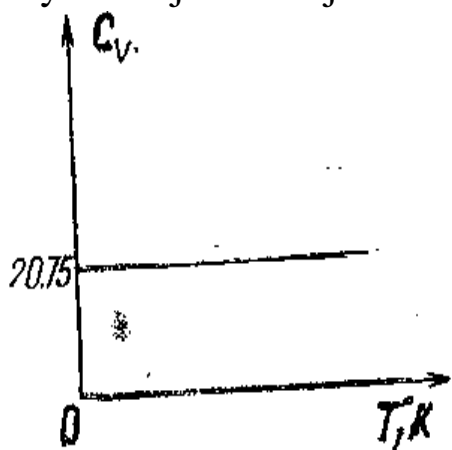
$$C_{\mu V} = 3 \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 24,93 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$C_{\mu P} = 4 \cdot 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} = 33,24 \frac{J}{mol \cdot K}$$

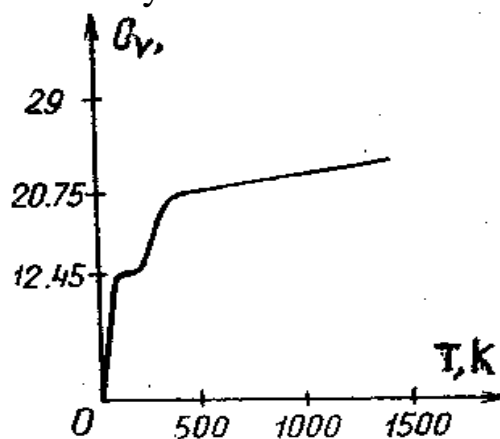
Shunday qilib, issiqlik sig'ining klassik nazariyasiga asosan hisoblab, uni tajribada olingan natijalarga taqqoslaganda faqat sodda gazlar uchun (bir, ikki va uch atomli molekulalardan iborat bo'lganda) xona haroratida mos kelar ekan.

Issiqlik sig'ining klassik nazariyasiga asosan, gazning issiqlik sig'imi haroratga bog'liq emas (8-rasm). Lekin tajriba natijalari, gazning

issiqlik sig'iminin 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'iminin klassik nazariyasi tajriba natijalariga to'g'ri kelmas ekan. Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, issiqlik sig'iminin klassik nazariyasi bilan tajriba natijalari to'g'ri kelmaganligi uchun, bu nazariya asosida yotgan, molekula harakatining erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning teng taqsimlanish qonuni noto'g'ri ekanligidan dalolat beradi.

### *Issiqlik sig'iminin kvant nazariyasi*

Issiqlik sig'iminin 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 uzluksiz qiymatga olishi mumkin.

M.Plank va A.Eynshteyn asos solgan kvant nazariyasi yordamida issiqlik sig'imini tog'ri tushuntirish mumkin.

Issiqlik sig'iminin kvant nazariyasiga asosan ossillyator energiyasi qator uzlukli qiymatlar olishi mumkin bo'lib, u ossillyatorning tebranish chastotasiga to'g'ri 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'rinadiki, 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 sababli 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 darajasi ko'ra teng taqsimlanishiga olib keladi.

Yuqorida aytilgan mulohazalarni hisobga olib ikki atomli gaz molekulasi 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 darajalariga to'g'ri kelgan energiya, ikkinchi had esa molekulaning tebranma harakatining erkinlik darajalariga 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:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{5}{2}R + R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{e^{\frac{h\nu}{kT}}}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (7)$$

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.

### ***Qattiq jismlarning issiqlik sig'imi***

Issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini ideal gazlar va kristall moddalar uchun, molekulyar-kinetik va kvant mexanika nazariyalari yordamida ba'zi bir taxminlarga yo'l qo'ygan holda Plank, Eynshteyn, Debay tomonidan nazariy hisoblash usuli ishlab chiqilgan.

1. Kristall qattiq jismlarning eng sodda modeli sifatida tugunlaridagi moddiy nuqta deb qaraladigan atomlar joylashgan muntazam kristall panjarani qarash mumkin. Atomlar muvozanat vaziyatlari atrofida issiqlik tebranishlari bajaradi. Agar tebranishlar kichik bo'lsa, u holda ular garmonik tebranadilar. Har bir atomning energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Har bir erkinlik darajasiga o'rtacha  $1/2kT$  kinetik energiya to'g'ri keladi. Ma'lumki, garmonik tebranishlarda bir erkinlik darajasiga xuddi shuncha potensial energiya, ya'ni  $1/2kT$  to'g'ri keladi. Shunday qilib, bitta tebranma erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan to'liq energiyaning o'rtacha qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_{to'la} = E_{kin} + E_{pot} = kT \quad (1)$$

Endi kristall panjaraning issiqlik sig'imini hisoblash mumkin. Sodda bo'lsin uchun hamma atomlar bir xil deb hisoblaymiz. Har bir atom uchta tebranma erkinlik darajasiga ega va shuning uchun unga  $3kT$  o'rtacha kinetik energiya to'g'ri keladi. Bu kattalikni Avogadro soni  $N$  ga ko'paytirib, qattiq jism bir molining ichki energiyasini hisoblaymiz:

$$U = N \cdot 3kT = 3RT$$

Bundan qattiq jismning molyar issiqlik sig'imi uchun

$$C_V = dU/dt = 3R = 24,9 J/(K \cdot mol) = 6 \text{ kal}/(K \cdot mol) \quad (2)$$

qiymatni hosil qilamiz.

1819-yilda, ***Dyulong va Pti quyidagi empirik qoidani aniqladilar: Bu qoidaga muvofiq, qattiq holatda kimyoviy elementning solishtirma issiqlik sig'imining atom massasiga ko'paytmasi hamma elementlar uchun taxminan bir xil va  $6 \text{ kal}/(K \cdot mol)$  ni tashkil qiladi.***



Bundan ko'ramizki, Dyulong va Pti qoidasi issiqlik sig'implarining klassik nazariyasida juda soda tushuntiriladi. Xulosa shuni ko'rsatadiki, Dyulong va Pti qoidasida gap doimiy hajmdagi molyar issiqlik sig'imi ustida ketadi. Quyidagi jadvalda ba'zi kimyoviy elementlarning qattiq holatda 15 dan 100<sup>0</sup>S gacha harorat intervalidagi molyar issiqlik sig'implar keltirilgan.

<i>Element</i>	<i>C<sub>v</sub>, kal/(K•mol)</i>	<i>Element</i>	<i>C<sub>v</sub>, kal/(K•mol)</i>
Uglerod	1,44	Platina	6,11
Bor	2,44	Oltin	5,99
Alyuminiy	5,51	Qo'rg'oshin	5,94
Kalsiy	5,60	Uran	6,47
Kumush	6,11		

2. Aytaylik, endi qattiq jism sifatida kimyoviy birikma masalan, *NaCl* tuzi olingan bo'lsin. Uning kristall panjarasi turli tipdagi atomlardan tuzilgan. Ma'lumki, kimyoviy birikmaning molekulyar massasi shu molekula tarkibidagi barcha atomlarning atom massalari yig'indisidan iborat bo'ladi. Energiyaning erkinlik darajalari bo'ylab teng taqsimlanishi haqidagi teoremaning qo'llanilishi uchun atomlarning bir xil yoki har xil ekanligining ahamiyati yo'q. Har bir atom uchta tebranma erkinlik darajasiga ega va unga o'rtacha  $3kT$  energiya to'g'ri keladi. Agar molekulada  $n$  atom bo'lsa, molekulaning o'rtacha energiyasi  $3nkT$  bo'ladi. Molyar issiqlik sig'imi  $3nkN=3nR$ , ya'ni molekulari bir atomli bo'lgan moddanikidan  $n$  marta katta bo'ladi. Boshqacha aytganda, ***qattiq birikmaning molyar issiqlik sig'imi u tarkib topgan elementlarning molyar issiqlik sig'implarining yig'indisiga teng bo'ladi.*** Bu qoida ham empirik topilgan bo'lib, ***Joul*** va ***Koop qonuni*** deb ataladi. Bu qonunni Joul 1844-yilda aytgan, biroq u 1864-yildagina Koop tomonidan aniq ifodalangan va Koopning o'zi olgan nihoyatda ko'p dalillar bilan isbot qilingan. Shu narsani qayd qilamizki, Joul va Koop qonunining yuqorida keltirilgan: ***“Qattiq birikmaning molyar issiqlik sig'imi u tarkib topgan elementlarning molyar issiqlik sig'implarining yig'indisiga teng”***, -degan ifodasi Dyulong va Pti qoidasidan ko'ra umumiyroqdir. Dyulong va Pti qoidasi buzilishi mumkin, qachonki birikmaga kiruvchi kimyoviy elementlarning molyar issiqlik sig'implari bir-biridan farq qilganda, biroq bunga qaramay, Joul va Koop qonuni o'rinli bo'lib qolaverishi ham mumkin. Koop aynan, xuddi shuni aniqlagan edi.

## *Qaytar va qaytmas jarayonlar. Aylanma jarayonlar (sikllar)*

Agar termodinamik sistema biror jarayon natijasida bir holatdan ikkinchi holatga o'tsa, undan keyin sistema teskari jarayonda ikkinchi holatdan o'sha oraliq holatlari orqali o'zining boshlang'ich birinchi holatiga qaytsa va sistemani o'rab olgan muhitda hech qanday o'zgarish bo'lmasa, bunday jarayonlar **qaytar jarayonlar** deyiladi.

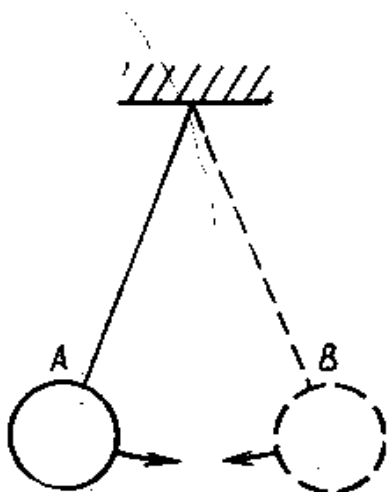
Agar atrofdagi jismlarda yoki sistemada o'zgarish bo'lsa, bunday jarayon **qaytmas jarayon** deyiladi.

Tabiatda bo'layotgan deyarli hamma jarayonlar qaytmas, lekin qaytmaslik darajasi har xil bo'lishi mumkin.

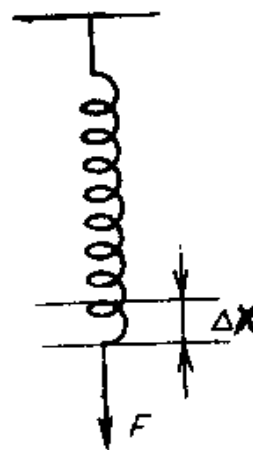
Qaytar jarayonga yaqin bo'lgan jarayonlarni ko'rib chiqaylik:

1. *A* holatdan *B* holatga va aksincha *B* holatdan *A* holatga qarab tebranayotgan og'ir mayatnikning (10-rasm) tebranma harakati qaytar jarayonga misol bo'la oladi. Chunki muhitning qarshiligi va ishqalanish kuchlari juda kichik bo'lsa, mayatnikning tebranishida amplitudasi uzoq vaqt kamaymaydi, bu holatda sistemaning kinetik energiyasi potensial energiyaga aylanadi va aksincha.

2. Biror uchi mahkamlangan prujinani (11-rasm) *F* kuch ta'sirida ma'lum  $\Delta x$  uzunlikka sekin cho'zsak, undan keyin kuchning ta'sirini to'xtatsak, prujina boshlang'ich holatiga qaytadi. Bu misolda biz prujinaning potensial energiyasini ortganini va teskari holatda kamayganini ko'ramiz. Bu jarayonni ham qaytar jarayon deb qarashimiz mumkin.



10-rasm.



11-rasm.

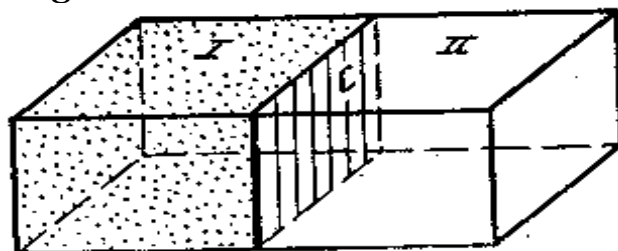
3. Ma'lum bir balandlikdan ishqalanishsiz (bo'shliqda) jismning biror bir tekislikka tushishi, agar urilish absolyut elastik bo'lsa, unda jism va tekislik o'zining boshlang'ich ko'rinishiga keladi, atrof-muhitda hech

qanday o'zgarish bo'lmaydi. Mana shunday mexanik jarayon qaytar jarayonga yaqin bo'ladi.

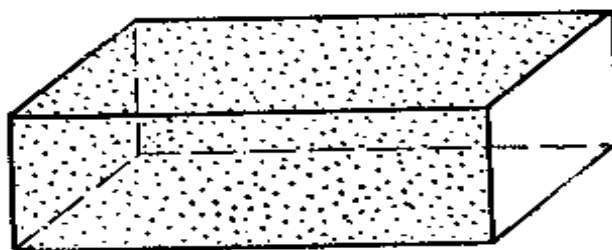
***Ishqalanish bilan amalga oshadigan jarayon qaytmas jarayon bo'ladi. Chunki ishqalanish kuchlari mavjud bo'lgan joyda ishni bir qismi issiqlikka aylanadi. Ishqalanayotgan sirtlar qiziydi va issiqlik miqdori atrof-muhitga sochiladi, demak, atrofdagi jismlarda o'zgarish sodir bo'ladi. Shuning uchun jarayon qaytmas deyiladi.***

***Har qanday gazni bo'shliqqa kengayish jarayoni ham qaytmas bo'ladi.*** Masalan, 12-rasmdagi *a* idishni bir qismida (1) gaz mavjud. II qismida bo'shliq. Agar *a* idishning (C) to'sig'i olinsa, gaz idishning hajmi bo'yicha teng taqsimlanadi (b), lekin gaz o'z-o'zidan idishning I qismida yig'ilmaydi, gaz molekularini I qismda yig'ish uchun, ya'ni boshlang'ich holatiga qaytarish uchun ish bajarish kerak, bu esa o'z navbatida atrofdagi jismlarda o'zgarishni vujudga keltiradi.

***Issiq jismdan sovuq jismga issiqlik miqdorining uzatilish jarayoni ham qaytmas jarayonlarga misol bo'la oladi.***



*a*



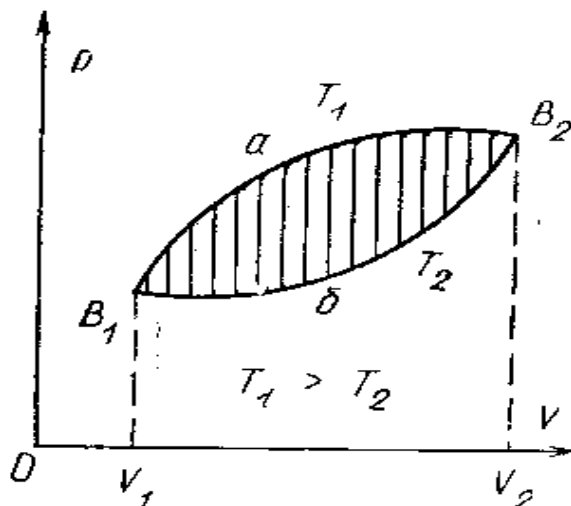
*b*  
12-rasm.

Masalan,  $T_1$  haroratdagi termodinamik sistemani,  $T_2$  haroratdagi termodinamik sistema ( $T_1 > T_2$ ) bilan kontakt holatga keltirilsa, unda birinchi sistemadan ikkinchi sistemaga ma'lum  $\Delta Q$  issiqlik miqdori o'z-o'zidan o'tadi. Lekin sovuq sistemadan issiqroq bo'lgan sistemaga issiqlik miqdori o'z-o'zidan o'tmaydi, buni bajarish uchun ish bajarish kerak, bu esa atrofdagi jismlarda o'zgarishni vujudga keltiradi.

***Gazlarda diffuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonlari ham qaytmas jarayonlardir.***

Shunday qilib, *real holatda tabiatdagi issiqlik jarayonlar qaytmas jarayonlardir.*

Endi aylanma (siklik) jarayonlarni ko'rib chiqaylik. Agar termodinamik sistema  $B_1$  holatdan  $B_2$  holatga  $a$  yo'nalishda o'tkailsa (13-rasm), so'ngra sistema  $B_2$  holatdan  $b$  yo'nalishda oraliq holatlar yo'li bilan boshlang'ich  $B_1$  holatga keltirilsa, bunda *aylanma jarayon* yoki *sikl* bajarildi, deyiladi.



13-rasm.

13-rasmda muvozanatli aylanma jarayon (sikl) ko'rsatilgan. Termodinamik sistemani (gazni) kengayish jarayoni  $B_1aB_2$  chiziq bilan, siqilish jaryoni  $B_2bB_1$  chiziq bilan, siklik kengayish jarayoni siqlishga nisbatan yuqori harorat va bosimda bajarilganligi rasmdan ko'rinadi.

Sistema gaz to'g'ri  $B_1aB_2$  jarayonda tashqi jismlardan  $dQ_1$  issiqlik miqdori olganligi uchun uning ichki energiyasi  $dU$  kattalikka o'zgaradi va sistema kengayishida tashqi kuchlarga nisbatan  $dA_1$  ish bajaradi. Termodinamikaning birinchi qonunini kengayish jarayoni uchun yozamiz:

$$dQ_1 = dU + dA_1 \quad (1)$$

Siklning teskari  $B_2bB_1$  qismida tashqi kuchlar sistema (gaz) ustida  $dA_2$  ish bajaradi (siqilish jarayoni), bu jarayonda sistemadan  $dQ_2$  issiqlik miqdori olinadi ( $dQ_2 < dQ_1$  va  $dA_2 < dA_1$ ). Gazning siqilishi jarayonida uning ichki energiyasi ( $-dU$ ) kattalikkka o'zgaradi.

Siqilish jarayoni uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozsak,

$$-dQ_2 = -dU + dA_2 \quad (2)$$

bo'ladi, (1) va (2) tenglamalarni qo'shamiz, unda quyidagi hosil bo'ladi:

$$dQ_1 - dQ_2 = dQ = dA_1 - dA_2 = dA \quad (3)$$

Demak, siklning oxirida sistema boshlang'ich holatiga keladi, bunda sistema (gaz) tashqi manbalardan issiqlik miqdorini olishi hisobiga ish bajaradi.

Sistema aylanma jarayonda  $B_1$  holatdan chiqib, yana  $B_1$  holatga qaytadi, shuning uchun uning ichki energiyasi o'zgarmaydi.

Aylanma jarayonda sistema (gaz) bajargan foydali ish  $dA$  sistema kengayishida tashqi jismlardan olgan  $dQ_1$  issiqlik va siqilishida tashqi jismlarga bergan issiqlik miqdorlarini  $dQ_2$  ayirmasiga teng ekan. 8- rasmda ko'rsatilgan  $B_1aB_2bB_1$  yuza son jihatdan aylanma jarayonda bajarilgan  $dA=dA_1-dA_2$  ishga teng.

Aylanma jarayonda sistema foydali ish bajarishi uchun albatta, ikkita har xil jarayon ishtirok etishi kerak. Masalan, izotermik va adiabatik yoki izoxorik va izotermik jarayonlar.

Agar bitta izotermik jarayon, kengayishda va siqilishda bo'lsa, unda foydali ish bajarilmaydi, chunki izotermik kengayishda bajarilgan ish o'zaro teng va qarama-qarshi ishorali bo'ladi. Siklda ikkita har xil jarayon bo'lsa, sistema kengayishda ma'lum bir holatlardan o'tadi, siqilishda esa boshqa bir holat oraliqlaridan o'tadi, shuning uchun bajarilgan foydali ish va u sistemaning kengayishida bajarilgan ish  $dA_1$  dan siqilishda bajarilgan ish  $dA_2$  ning ayirmasiga teng bo'ladi.

### ***Adiabatik jarayon. Puasson tenglamasi***

Agar termodinamik sistema atrof-muhitdan issiqlik miqdorini qabul qilmasa va o'zidan issiqlik chiqarmasa, u holda bu sistemada issiqlik miqdorining o'zgarishi nolga teng, ya'ni  $dQ=0$ . Sistema, atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvida bo'lmasa, bunday sistemadagi jarayonga ***adiabatik jarayon*** deyiladi.

Real holatda adiabatik jarayonni qanday amalga oshirish mumkin yok unga qanday yaqinlashishimiz mumkin?

1. Agar termodinamik sistema, issiqlik o'ztkazuvchanligi nolga teng bo'lgan devor (qobiq) bilan o'ralgan, masalan, dyuar idishi (20-rasm) bo'lsin. Mana shunday sistemalarda bo'layotgan jarayonlarni adiabatik jarayonga yaqin deb qarashimiz mumkin.
2. Sistemada bo'layotgan jarayonlar juda tez, ya'ni qisqa vaqt ichida sodir bo'lganligi uchun bunday jarayonlarni ham adiabatik jarayon deyishimiz mumkin. Chunki, sistemada bo'layotgan jarayon juda qisqa vaqt davomida sodir bo'layotganligi uchun sistema atrof-muhit bilan issiqlik almashishga ulgurmaydi.

Adiabatik jarayon uchun termodinamikaning birinchi qonuni yozamiz:

$$dQ=dU+dA=0 \quad (1)$$

yoki

$$C_{\mu V} \cdot dT + PdV_{\mu} = 0 \quad (2)$$

Adiabatik jarayonda gaz ichki energiyasining hisobiga ish bajaradi.

Bir mol ideal gaz uchun Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan bosimni  $P = \frac{RT}{V_{\mu}}$  aniqlab, uni (2) formulaga qo'ysak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$C_{\mu V} dT + \frac{RT}{V_{\mu}} dV_{\mu} = 0 \quad (3)$$

Mayer tenglamasidan  $R = C_{\mu P} - C_{\mu V}$  ni topib, uni (3) tenglamaga qo'yib, ma'lum elementar matematik amallarni bajargandan keyin tenglama quyidagi shaklga keladi:

$$\frac{dT}{T} + \frac{C_{\mu P} - C_{\mu V}}{C_{\mu V}} \cdot \frac{dV_{\mu}}{V_{\mu}} = 0 \quad (4)$$

$\frac{C_{\mu P}}{C_{\mu V}} = \gamma$  deb belgilab, (4) ni integrallaymiz, unda quyidagi natija hosil bo'ladi.

$$\ln T + (\gamma - 1) \ln V_{\mu} = \text{const} \quad (5)$$

bundan

$$TV_{\mu}^{\gamma-1} = \text{const} \quad (6)$$

yoki

$$T_1 V_{\mu 1}^{\gamma-1} = T_2 V_{\mu 2}^{\gamma-1} \quad (6a)$$

(6) va (6a) tenglamalar adiabatik jarayon uchun **Puasson tenglamasi** deyiladi. Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan

$$T = \frac{PV_{\mu}}{R}$$

ni topib uni (6) formulaga qo'ysak, Puasson tenglamasini boshqacha ko'rinishi kelib chiqadi:

$$PV_{\mu}^{\gamma} = \text{Const} \quad (7)$$

Agar holat tenglamasidan

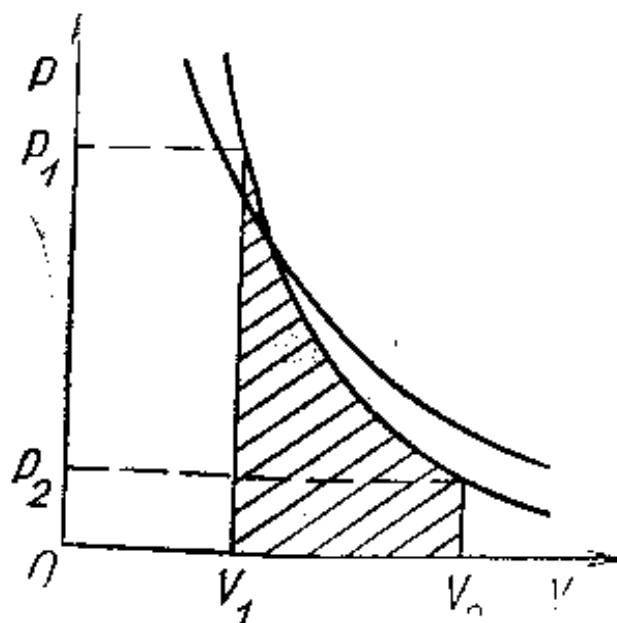
$$V_{\mu} = \frac{RT}{P}$$

ni topib uni (6) formulaga qo'ysak, Puasson tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$T^{\gamma} P^{1-\gamma} = \text{Const} \quad (8)$$

(7) tenglamani grafigi 14-rasmda ko'rsatilgan.  $\gamma = \frac{C_{\mu P}}{C_{\mu V}}$  birdan katta

bo'lganligi uchun Puasson tenglamasining (adiabata) chizig'i izoterma chizig'iga nisbatan tikroq bo'ldi.



14-rasm.

Adiabatik jarayonda bajarilgan ishni (2) tenglikdan aniqlaymiz:

$$dA = PdV = -C_{\mu V}dT \quad (9)$$

Gaz hajmi adiabatik o'zgarganda uning harorati  $T_1$  dan  $T_2$  gacha o'zgarsin. Bu harorat oralig'ida (9) ni integrallab bir mol gaz massasini adiabatik jarayonda bajarilgan ishni hisoblaylik:

$$A = - \int_{T_1}^{T_2} C_{\mu V} dT = C_{\mu V} (T_1 - T_2) \quad (10)$$

Bu tenglikni ixtiyoriy gaz massasi uchun yozsak,

$$A = \frac{m}{\mu} C_{\mu V} (T_1 - T_2) \quad (11)$$

bo'ladi. R.Mayer tenglamsidan  $R = C_{\mu P} - C_{\mu V}$  foydalanib va  $C_{\mu P} = \gamma C_{\mu V}$  ni hisobga olsak, quyidagini hosil qilamiz:

$$R = C_{\mu P} - C_{\mu V} = \gamma C_{\mu V} - C_{\mu V} = C_{\mu V}(\gamma - 1) \quad (12)$$

bundan,

$$C_{\mu V} = \frac{R}{\gamma - 1} \quad (13)$$

(13), (10) va (11) formulaga qo'ysak, ideal gaz uchun adiabatik jarayonda bajarilgan ishning ifodasi kelib chiqadi:

$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (13a)$$

$$A = \frac{mRT_1}{m(\gamma - 1)} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (14)$$

Puasson tenglamasi (6a) dan

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad (15)$$

hisobga olsak, adiabatik jarayonda bajarilgan ishning formulasi (13a) va (14) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_{\mu 1}}{V_{\mu 2}} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (13b)$$

$$A = \frac{mRT_1}{\mu(\gamma - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_{\mu 1}}{V_{\mu 2}} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (17)$$

14-rasmda shtrixlangan yuza son jihatdan hajmning adiabatik o'zgarishida bajarilgan ishga teng bo'ladi.

### ***Politropik jarayon***

***Politropik jarayonlar deb***, shunday jarayonlarga aytiladiki, unda jismning issiqlik sig'imi o'zgarimas saqlanadi, ya'ni:

$$C = \text{Const} \quad (1)$$

va politropik jarayonlarda gaz holat tenglamasidan tashqari, boshqa qo'shimcha shartlarga ham bo'ysunishi kerak.

Ideal gazning politropa tenglamasini topish uchun

$$dQ = d \left( \frac{m}{M} C_v T \right) + PdV$$

tenglamadagi  $dQ$  o'rniga  $\left( \frac{m}{M} \right) C_d T$  ifodani qo'yamiz, u holda

$$\frac{m}{M} C_d T = \frac{m}{M} C_v dT + PdV$$

bo'ladi.

Bu tenglikni quyidagicha almashtiramiz, ya'ni har ikki tomonini  $R$  ga ko'paytirib olamiz:

$$\frac{m}{M} (C - C_v) R dT = R P dV \quad (2)$$

Tenglama,  $\frac{m}{M} R dT = P dV + V dP$  dan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{m}{M} R dT = P dV + V dP$$

(2) tenglamaga xuddi shunday almashtirish kiritib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$(C - C_v)(P dV + V dP) = R P dV,$$

bundan,

$$(C - C_v - R) P dV + (C - C_v) V dP = 0 \quad (2a)$$



(2a) tenglamani  $P \cdot V$  ga bo'lib,  $C_p = C_v + R$  ekanligini e'tiborga olsak, natija quyidagicha bo'ladi:

$$(C - C_p) \frac{dV}{V} + (C + C_v) \frac{dP}{P} = 0 \quad (3)$$

Agar  $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$  kattalikni kiritsak, (3) tenglamaning ko'rinishi

$$n \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0 \quad (5)$$

bo'ladi.

(5) tenglamaning  $\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0$  tenglamadan farqi shundaki,  $\frac{dV}{V} = const$

bo'lganda, faqatgina doimiy kattalik  $\gamma$  o'rniga  $n$  doimiy kattalik kelyapti. Shuning uchun tenglamaning yechimi:

$$PV^n = const \quad (6)$$

ko'rinishda bo'ladi.

(6) tenglamaga ideal gaz politropiya tenglamasi deyiladi. (4) tenglama yordamida topiladigan  $n$  doimiy kattalik politropa ko'rsatkichi deyiladi.

Politropa tenglamasi gaz parametrlari  $T$  va  $V$  o'zgarganda,

$$TV^{n-1} = const \quad (7)$$

bo'ladi.

(3) tenglamani  $C$  ga nisbatan yechganda,  $n$  politropa ko'rsatkichi orqali politropik jarayonning  $C$  issiqlik sig'imini ifodalovchi formulani chiqaramiz:

$$C = \frac{nC_v - C_p}{n - 1} \quad (8)$$

Ideal gazning adiabat tenglamasini qaraganimizda ham jarayonlar politropik edi. Izobarik va izoxorik jarayonlarda ham  $C_p$  va  $C_v$  kattaliklar doimiydir. (4) formuladan ko'rinadiki, izobarik jarayonlarda  $n=0$ , izoxorik jarayon uchun  $n=\infty$ . Haqiqatan ham,  $n=0$  da (6) tenglama  $P=const$  izobarik jarayon tenglamasiga o'tadi. (6) tenglamadan  $n=\infty$  holatni olish uchun tenglama chap qismidan ildizda daraja ko'tarish kerak. Natijada tenglama

$$\frac{1}{P^n V} = const$$

ko'rinishni oladi va  $n=\infty$  izoxorik jarayon  $V=const$  tenglamasiga o'tadi.  $n=\gamma$  bo'lganda (6) tenglama adiabatik jarayon  $Q=0$  tenglamasiga o'tadi, ya'ni

$$P \cdot V^\gamma = const$$

$n=1$  bo'lganda (6) tenglama izotermik jarayon  $T=Const$  tenglamasiga o'tadi, ya'ni

$$P \cdot V = \text{const}$$

Izotermik jarayonda issiqlik sig'imi (8) tenglamasi  $C_T \rightarrow \infty$  qiymatni beradi. Bundan shunday xulosaga kelamizki, jismga  $dQ$  issiqlik miqdori berilganda ham harorat o'zgarmaydi,  $dT=0$ .

Adiabatik jarayonda issiqlik sig'imi (8) tenglamasi  $C_Q=0$  qiymatni beradi. Bundan xulosa shuki,  $dQ=0$  da  $dT$  noldan farqli bo'ladi.

Quyidagi jadvalda turli jarayonlar uchun  $n$  va  $C$  ning qiymatlari keltirilgan:

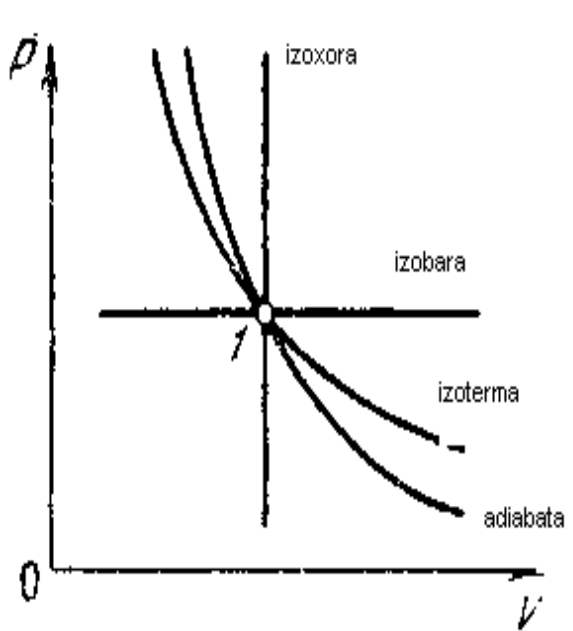
	<i>Jarayon</i>	<i>N</i>	<i>C</i>
	Izobarik	0	$C_p$
	Izotermik	1	$\infty$
	Adiabatik	$\Gamma$	0
	Izoxorik	$\infty$	$C_v$

***Oddiy termodinamik jarayonlarda ish va issiqlik miqdori  
(mavzuga ilova)***

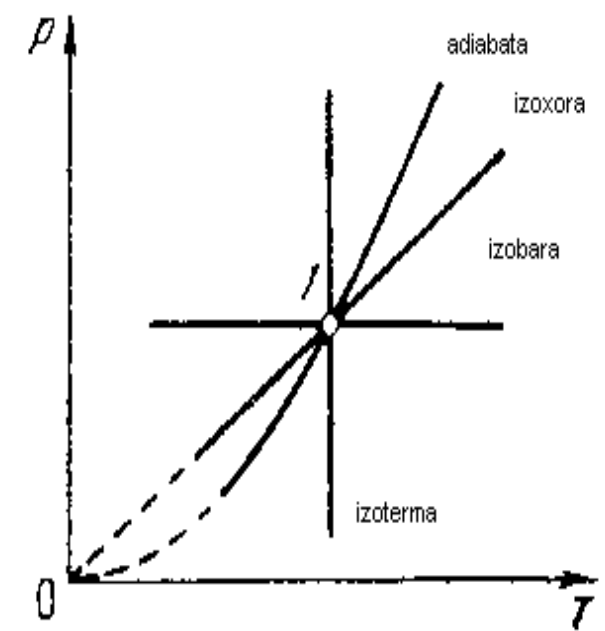
<i>Jarayon nomi</i>	<i>Jarayon tenglamasi</i>	<i>Holat parametrlari orasidagi bog'lanish</i>	<i>Jarayondagi ish</i>	<i>Jarayonga berilgan issiqlik miqdori</i>
Izoxorik	$V=\text{const}$	$\frac{P}{T}=\text{const}$	$A=0$	$Q=C_v(T_2-T_1)$
Izobarik	$P=\text{const}$	$\frac{V}{T}=\text{const}$	$A=P(V_2-V_1)$	$Q=C_p(T_2-T_1)$
Izotermik	$T=\text{const}$	$PV=\text{const}$	$A=P(V_2-V_1)$	$Q=A$
Adiabatik	$Q=0$	$PV^\chi=\text{const}$	$A=-\Delta U$	$Q=0$
Politropik	$C=\text{const}$	$PV^n=\text{const}$	$A=P(V_2-V_1)$	$Q=C(T_2-T_1)$

***Oddiy termodinamik jarayonlarning umumlashgan grafiklari  
(mavzuga ilova)***

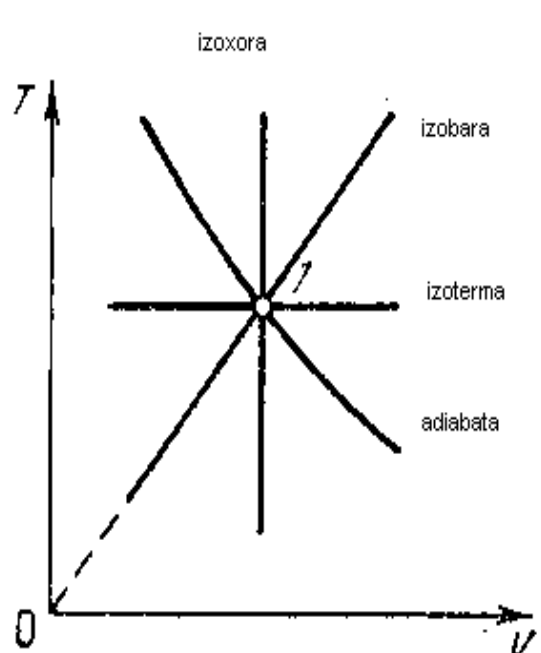
a, b, v rasmlarda ideal gazning izoxora, izobara, izoterma va adiabatlari  $V-P$ ,  $T-P$  va  $V-T$  diagrammalarda keltirilgan. Gazning boshlang'ich holati (1) barcha jarayonlar uchun bir xil. Politropik jarayonda politropa ko'rsatkichi  $n$  ning ideal gaz issiqlik sig'imi  $C$  ga bog'liqligi g rasmda keltirilgan.



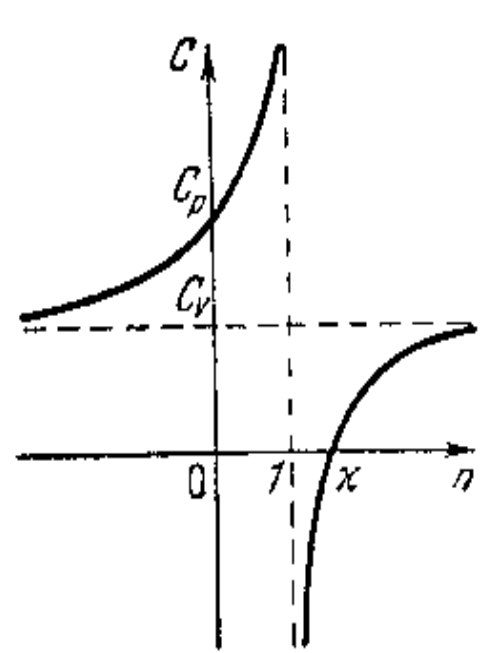
a)



b)



v)



g)

### Gazlarda tovushning tezligi

Elastik muhit zarralari tebranishlarining vaqt o'tishi bilan muhit bo'ylab to'lqin sifatida tarqalish hodisasiga **tovush** deb aytiladi.

Inson eshitish organi chastotasi 16 Gs dan 2000 Gs gacha bo'lgan to'lqinlarni sezadi. Shuning uchun, chastotalari mazkur oraliqda bo'lgan to'lqinlar **tovush to'lqinlari** deb ataladi. Chastotasi 16 Gs dan kichik bo'lgan to'lqinlar **infratovushlar** deyiladi, chastotasi 20000 Gs dan yuqori

bo'lgan to'lqinlar esa **ultratorovushlar** deyiladi. Chastotalari  $10^9$  Gs dan  $10^{13}$  Gs gacha bo'lgan to'lqinlar **gipertovushlar** deyiladi.

1. Tovush to'lqinlarining fizik tabiati bir xil bo'lsada, ular chastotasiga qarab o'ziga xos xususiyatlarga ega. Misol, **yuqori chastotalarda to'lqin uzunlik nihoyatda qisqa**, ya'ni ba'zi murakkab molekulalar o'lchamlariga yaqin. Shuning uchun, bu to'lqinlar o'zi tarqalayotgan modda bilan juda kuchli ta'sirlashadi.

Gazlarda tovushning tarqalish tezligi quyidagi formula bilan ifodalaniladi:

$$v = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$$

Bu ifoda odatda **Laplas formulasi** ham deyiladi.

Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan  $P$  ni almashtirib va zichlik  $\rho = \frac{m}{V}$  ekanligini e'tiborga olsak, quyidagini olamiz:

$$v = \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \quad (1)$$

Bunga **Nyuton formulasi** ham deyiladi.

Bu yerda  $\mu$  – gaz molyar og'irligi.

(1) formula faqat bir atomli, ayrim hollarda ikki atomli gazlar uchun o'rinli bo'ladi. Ko'p atomli gazlarda tovush dispersiyasi kuzatiladi, ya'ni tovushning tarqalish tezligi tebranish chastotasiga bog'liq bo'ladi. Masalan, karbonat angidrid gazida chastota  $10^5$  Gs dan  $10^6$  Gs gacha o'zgarsa, u holda **tovushning tarqalish tezligi 4% ga ortadi**. Tovush to'lqinlari dispersiyasiga sabab, issiqlik sig'imining chastotaga bog'liqligidir, buni quyidagi formuladan ham ko'rish mumkin:

$$C_{MV} = \frac{dU}{dT} = \frac{5}{2}R + R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \cdot \frac{l^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left( l^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^2} \quad (2)$$

Nyuton formulasi (1) bo'yicha tovushning havoda tarqalish tezligini topsak, havo uchun  $\mu=28,8$ ;  $T=273$  K bo'lsa,  $v=280$  m/s bo'ladi. Aslida tajriba  $v=330$  m/s ekanini ko'rsatadi.

2. Bunday farq Laplas (1749-1827) tomonidan bartaraf etildi. Laplas tovush to'lqinidagi zichlik tebranishlari va u bilan bog'langan harorat tebanishlari shunchalik tez o'tadi va havoning issiqlik o'tkazuvchanligi shunchalik kichikki, bunday jarayonlar uchun issiqlik almashinish hech qanday rol o'ynamaydi, deb ko'rsatib berdi. Tovush to'lqinidagi quyushlashish va siyraklashishlar orasida haroratlar farqi tenglashishiga ulgura olmaydi va shuning uchun tovushning tarqalishini adiabatik jarayon

deb hisoblash mumkin. Bunday holda izoterma tenglamasidan emas, balki  $\gamma PdV + VdP = 0$  adiabat tenglamasidan foydalanish kerak. Agar bu tenglamaga  $V$  hajmning o'rniga  $p \sim 1/V$  zichlikni kiritsak, bu tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\gamma P d\rho - \rho dP = 0 \quad (3)$$

Bundan adiabatik jarayon uchun

$$\frac{dP}{d\rho} = \left( \frac{dP}{d\rho} \right)_{ad} = \gamma \frac{P}{\rho} = \left( \frac{dP}{d\rho} \right)_T \quad (4)$$

Shuning uchun (2) Nyuton formulasi o'rniga **Laplas formulasi** kelib chiqadi:

$$C_L = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = C_N \sqrt{\gamma} \quad (5)$$

bu yerda  $C_L$  – tovushning Laplas tezligi.

Bu formula tovushning tezligi uchun Nyuton formulasidan  $\sqrt{\rho}$  marta katta bo'lgan kattalikni beradi. Havo uchun  $\gamma$  ni o'lchashlar  $\gamma = 1,4$  natijani beradi. Shuning uchun Laplas formulasiga muvofiq,  $T = 273 \text{ K}$  da havoda tovushning tezligi

$$v = 280 \sqrt{1,4} = 330 \text{ m/s}$$

bo'lishi kerak, bu esa tajriba ma'lumotlariga mos keladi.

3.  $\gamma$  issiqlik sig'implari nisbatini eksperimental o'lchashning ikkinchi qulay, aniqligi jihatidan Kleman va Dezorm usulidan yuqori bo'lgan usuli Nyuton va Laplas formulalariga asoslangan. Tovushning tatqiq qilinayotgan gazdagi  $c$  tezligi eksperimental o'lchanadi.  $\gamma$  kattalik

$$\gamma = \left( \frac{c}{C_N} \right)^2 \quad (6)$$

formuladan hisoblanadi, bu yerda  $C_N$  – **tovushning Nyuton tezligi** deb ataluvchi, ya'ni (2) formuladan aniqlanadigan kattalik. (5) formuladan aniqlanadigan  $C_L$  kattalik esa **tovushning laplas tezligi** deyiladi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

$P=2 \cdot 10^5$  Pa bosim ostida turgan gaz izobarik ravishda kengayib 100 J ish bajaradi. Gazning hajmi qanchaga ortgan?

**Berilgan:**

$$p=2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A=100 \text{ J}$$

$$\Delta V=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Termodinamikada ish formulasidan foydalanamiz?

$$A = p(V_2 - V_1) = p \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = \frac{A}{p}$$

Hisoblash:

$$\Delta V = \frac{100}{2 \cdot 10^5} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{Javobi: } \Delta V=5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

### 2-masala

$7^0\text{S}$  haroratda 1 kg dagi azot molekulalarining aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng?

**Berilgan:**

$$T=280 \text{ K}$$

$$m=1 \text{ kg}$$

$$\mu=28 \text{ kg/mol}$$

$$i=3$$

$$\hat{W}=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazlar uchun ichki energiyani topish formulasini yozamiz:

$$W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

va bizga bir atomli gaz berilganligini e'tiborga olsak,  $i=3$  bo'ladi,

$$W = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

Hisoblaymiz:

$$W = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{3 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 280}{2 \cdot 0,28} = 83 \text{ kJ}$$

### 3-masala

$1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bosimda bo'lgan 2 l hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi nimaga teng?

**Berilgan:**

$$P=1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V=2 \text{ l}=2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i=5$$

$$W=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazlar uchun ichki energiyani topish formulasini yozamiz:

$$W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

va bizga ikki atomli gaz berilganligini e'tiborga olsak,  $i=5$  bo'ladi,

$$W = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

Hisoblaymiz:

$$\hat{W} = \frac{5}{2} PV = \frac{5 \times 1,5 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{2} = 750 \text{ J}$$

### 4-masala

$0,02 \text{ m}^3$  hajmli ballondagi azot molekulari ilgari lanma harakatining kinetik energiyasi  $5 \cdot 10^3 \text{ J}$  ga, o'rtacha kvadratik tezligi esa  $2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$  ga teng. 1) ballondagi azotning miqdori, 2) azot qanday bosimda bo'lganligi topilsin.

**Berilgan:**

$$V=2 \text{ l}=2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W=5000 \text{ J}$$

$$v_{kv}=2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$m=?$$

$$P=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gaz molekularining o'rtacha kinetik energiyasini topish formulasini yozamiz:

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

bundan  $m$  gaz massasini topamiz:

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

Gazlar molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini yozamiz:

$$P = \frac{2}{3} nW$$

yoki

$$P = \frac{2W}{3V}$$

Hisoblaymiz:

$$m = \frac{2W}{v^2} = \frac{2 \times 5 \times 10^3}{(2 \times 10^3)^2} = 2.5 \text{ gr}$$

$$P = \frac{2W}{3V} = \frac{2 \times 5 \times 10^3}{3 \times 2 \times 10^{-2}} = 167 \text{ kPa}$$

### 5-masala

Geliyning atomlari Yerning tortish kuchini yengib, Yer atmosferasini abadiy tashlab ketishi uchun geliy atomlari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi qanday haroratda yetarlicha bo'ladi? Shunga o'xshash masala Oy uchun yechilsin.

**Berilgan:**

$$V_2 = 121 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$\mu = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$R = 8,31$$

$$T = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gaz molekullari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik va uning ichki energiyasini topish formulalarini yozamiz:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$W_i = \frac{3mRT}{2\mu}$$

Bu formulalarni o'zaro tenglashtiramiz va  $T$  ni topamiz:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

$$T = \frac{v^2 \mu}{3R}$$

Hisoblaymiz:

$$T = \frac{v^2 \mu}{3R} = \frac{(121 \cdot 10^6)^2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3 \times 8.31} = 2 \cdot 10^4 \text{ K}$$



## 6-masala

$P=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  bosimda zichligi  $\rho=4 \text{ kg/m}^3$  bo'lgan 1 kg ikki atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

### Berilgan:

$$P=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$\rho=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

$$m=1 \text{ kg}$$

$$i=3$$

$$W=?$$

### Masalaning yechilishi:

Gaz molekulari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi (bajarilgan ish)

$$W = \frac{i}{2} PV$$

ga teng va bundan  $V = \frac{m}{\rho}$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$W = \frac{i}{2} P \frac{m}{\rho}$$

Hisoblaymiz:

$$W = \frac{i}{2} P \frac{m}{\rho} = \frac{3 \times 8 \times 10^4 \times 1}{2 \times 4} = 50 \text{ kPa}$$

## 7-masala

$P=40 \text{ mm. sim. ust. bosimda}$  va  $t=27^0\text{S}$  haroratda  $V=1 \text{ sm}^3$  hajmni egallagan ikki atomli gaz molekularining soni qancha? Bu molekularining issiqlik harakati qancha?

### Berilgan:

$$P=5,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$V=10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T=300 \text{ K}$$

$$k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$i=5$$

$$N=?$$

$$W=?$$

### Masalaning yechilishi:

Gazlar molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini yozamiz:

$$P = nkT$$

molekular konsentratsiyasi  $n = \frac{N}{V}$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$P = \frac{N}{V}kT$$

$$PV = NkT$$

bu formuladan molekular soni  $N$  ni topamiz:

$$N = \frac{PV}{kT}$$

Gaz molekulari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi (bajarilgan ish)

$$W = \frac{i}{2}PV$$

bu yerda berilgan gaz ikki atomli bo'lganligi uchun  $i=5$ .

Hisoblaymiz:

$$N = \frac{PV}{kT} = \frac{5,3 \times 10^3 \times 10^{-6}}{1,38 \times 10^{-23} \times 300} = 1,3 \times 10^{19}$$

$$W = \frac{5}{2}PV = \frac{5 \cdot 5,3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,133 \text{ J}$$

### **8-masala**

1)  $V = \text{const}$  va 2)  $P = \text{const}$  bo'lganda kislorodning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

**Berilgan:**

$$i=3$$

$$C_v=?$$

$$C_p=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazning hajmi o'zgarmas bo'lganda, uning solishtirma issiqlik sig'imi quyidagiga teng:

$$C_v = \frac{i}{2}R$$

Hisoblaymiz:

$$C_v = \frac{i}{2}R = \frac{3}{2} \cdot 8,31 = 13 \text{ J / kg} \cdot \text{K}$$

### 9-masala

O'zgarmas bosimda quyidagi gazlarning: 1) vodorod xlorid, 2) neon, 3) azot oksidi, 4) uglerod oksidi va 5) simob bug'ining solishtirma issiqlik sig'implari topilsin.

**Berilgan:**

$$i=5$$

$$i=3$$

$$C_v=?$$

$$C_p=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazning bosimi o'zgarmas bo'lganda, uning solishtirma issiqlik sig'imi quyidagiga teng:

$$C_p = C_v + R$$

Hisoblaymiz:

Ikki atomli gazlar uchun:

$$1) C_v = \frac{i}{2} R = 20,8 J / kmol ;$$

$$C_p = C_v + R = 20,8 + 8,31 = 29,9 J/kmol$$

Bir atomli gazlar uchun:

$$2) \frac{i}{2} R = 12,46 ;$$

$$C_p = C_v + R = 12,46 + 8,31 = 20,77 J/kmol$$

### 10-masala

O'zgarmas bosimda kislorod uchun solishtirma issiqlik sig'imining o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imiga nisbati topilsin.

**Berilgan:**

$$i=3$$

$$C_p/C_v=?$$

**Masalaning yechilishi:**

O'zgarmas hajmda va o'zgarmas bosimda gazning solishtirma issiqlik sig'imini topish formulasini yozamiz:

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

va

$$C_p = C_v + R$$

Hisoblaymiz:

$$1.a. C_v = \frac{i}{2} R = 12.46$$

$$1.b. C_p = C_v + R = 12.46 + 8.31 = 20.77$$

$$2. \frac{C_p}{C_v} = \frac{20.77}{12.46} = 1.67$$

### ***11-masala***

Biror ikki atomli gazning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 3,5 kall/g·grad. ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?

**Berilgan:**

$$C_p = 14,7 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\mu = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

O'zgarmas hajmda gaz solishtirma issiqlik sig'imini molyar massa bilan bog'lanishini yozamiz:

$$C_v = \frac{i}{2\mu} R$$

bundan  $\mu$  molyar massani topamiz:

$$\mu = \frac{iR}{2C_v}$$

O'zgarmas bosimda gazning solishtirma issiqlik sig'imi:

$$C_p = C_v + R$$

bundan,  $C_v$  ni topamiz:

$$C_v = C_p - R$$

Hisoblaymiz:

$$C_v = C_p - R = 6,39 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$\mu = \frac{iR}{2C_v} = \frac{3 \times 8,31}{2 \times 6,39} = 0,002 \text{ kg / mol}$$

### ***12-masala***

Yopiq idishda  $27^{\circ}\text{S}$  haroratda va  $10^5 \text{ N/m}^2$  bosimda 14 g azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 5 marta ortgan. 1) Gazning qanday haroratgacha isitilganligi, 2) idishning hajmi, 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

**Berilgan:**

$$m = 14 \text{ g} = 14 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$P_1 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$P_2 = 5P_1$$

$$C_p = 29,1 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\mu = 28 \text{ kg/mol}$$

$$Q = 12,4 \text{ kJ} = 12,4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$T_2 = ?$$

$$V = ?$$

Q=?

**Masalaning yechilishi:**

1. Gazlar molekulyar kinetik nazariyasining holat tenglamasini yozamiz:

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} RT$$

bundan idishning hajmini topamiz:

$$V = \frac{P_1 \mu}{mRT_1}$$

2. Hajm o'zgarmas bo'lganda (Izoxorik jarayon uchun) tenglamani yozamiz:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

bundan  $T_2$  ni topamiz:

$$T_2 = \frac{T_1 P_2}{P_1}$$

3. Gaz issiqlik miqdorini topish formulasini yozamiz:

$$Q = \frac{m}{\mu} C (T_2 - T_1)$$

Hisoblaymiz:

$$V = \frac{P_1 \mu}{mRT_1} = 12,4 l$$

$$T_2 = \frac{T_1 P_2}{P_1} = 1500 \text{ K}$$

$$Q = \frac{m}{\mu} C (T_2 - T_1) = 12,4 kJ$$

**13-masala**

12 g kislorodni o'zgarmas bosimda  $50^{\circ}\text{S}$  ga isitish uchun qancha issiqlik miqdori sarflash kerak?

**Berilgan:**

$$m=12 \text{ g}=1,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$T=50^{\circ} \text{S}=323 \text{ K}$$

$$\mu=32 \text{ kg/mol}$$

$$Q=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gaz tomonidan olingan issiqlik miqdori quyidagi formuladan topiladi:

$$Q = \frac{m}{\mu} RT$$

Hisoblaymiz:

$$Q = \frac{m}{\mu} RT = \frac{12 \times 10^{-3} \times 8,31 \times 323}{32 \times 10^{-3}} = 1006,5 \text{ J} \approx 1 \text{ kJ}$$

**14-masala**

Doimiy bosim ostida 64 g kislorodni haroratini 50 K ga ko'tarish uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo'ladi? Ichki energiya va kengayish ustida bajarilgan ishga qancha issiqlik miqdori sarflanadi?

**Berilgan:**

$$m=64 \text{ g}=6,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\mu=32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\Delta T=50 \text{ K}$$

$$c=9,2 \cdot 10^2 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$c'=6,53 \cdot 10^2 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$Q_1=?$$

$$Q_2=?$$

$$A=?$$

**Masalaning yechilishi**

1. Izobarik isitilganda gaz yutgan issiqlik miqdori:

$$Q_1 = cm \Delta T$$

bu yerda  $c$  – doimiy bosim ostidagi kislorodning solishtirma issiqlik sig'imi.

Hisoblaymiz:

$$Q_1 = cm \Delta T = 9,2 \cdot 10^2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot 50 = 2,49 \cdot 10^3 J$$

2. Ichki energiyani oshishiga sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q_2 = c'm \Delta T$$

Hisoblaymiz:

$$Q_2 = c'm \Delta T = 6,3 \cdot 10^2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot 50 = 2,08 \cdot 10^3 J$$

3. Kengayish ishi uchun sarflangan issiqlik miqdori

$$A = Q_1 - Q_2$$

Hisoblaymiz:

$$A = Q_1 - Q_2 = 2,49 \cdot 10^3 - 2,08 \cdot 10^3 = 410 J$$



### **III. BO'LIM**

#### **TERMODINAMIKA II QONUNI. ENTROPIYA**

##### ***Termodinamika II qonunining har xil ta'riflari va ularning ekvivalentligi***

Termodinamikaning birinchi qonuni tabiatdagi jarayonlarning yo'nalishini aniqlab bermaydi.

Masalan, ma'lum tezlik bilan harakatlanayotgan mashinaning kinetik energiyasi tormozlanish natijasida issiqlikka aylanadi va atrof-muhitga sochiladi. Mana shu sochilgan energiya o'z-o'zidan yig'ilib, mashinaning kinetik energiyasiga aylanmaydi. Tajribalardan bizga ma'lumki, issiqlik o'z-o'zidan hamma vaqt issiq jismdan sovuqroq jismga o'tadi, ammo teskari jarayon o'z-o'zidan amalga oshmaydi.

Mana shunday jarayonlar termodinamikaning birinchi qonuniga zid emas, chunki bunda issiqlik va ish o'rtasida ma'lum bir munosabat bajariladi.

Masalan, birdan-bir natijasi biror jismdan olingan issiqlikni unga ekvivalent bo'lgan ishga aylantiradigan jarayon termodinamika birinchi qonuniga xilof emas. Demak, termodinamikaning birinchi qonuniga asoslanib, faqat bitta isitkichdan olingan issiqlik energiyasi hisobiga davriy ishlaydigan dvigatelni vujudga keltirish mumkin degan xulosaga keladi. Bunday dvigatelni ***ikkinchi tur abadiy dvigatel deyiladi.***

Yuqorida keltirilgan va boshqa ko'p tajriba natijalariga asoslanib quyidagi xulosaga kelamiz, ya'ni abadiy ishlaydigan mashinaning ikkinchi turini vujudga keltirib bo'lmaydi. Buni ko'pincha ***termodinamikaning ikkinchi qonuni deb ham yuritiladi.***

***Termodinamikaning ikkinchi qonuni tabiatda bo'layotgan jarayonlarning o'tish yo'nalishini va tavsifini aniqlab beradi.***

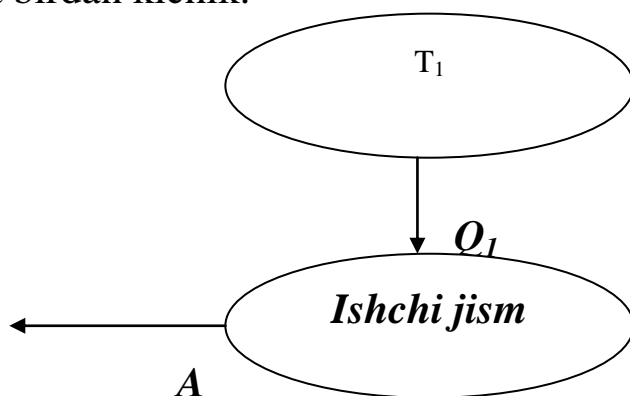
Endi bir-biriga ekvivalent bo'lgan termodinamika ikkinchi qonunining har xil ta'riflarini keltiramiz:

***1. Plank ta'rif:*** "Birdan-bir natijasi issiqlikni ishga aylantiradigan davriy jarayonni amalga oshirib bo'lmaydi". Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Faraz qilaylik,  $T_1$  haroratda isitkich va mashinaning silindrida ishchi jism (gaz) berilgan bo'lsin (1-rasm). Ishchi jismga isitkich bergan  $Q_1$  issiqlik hisobiga  $A$  ish bajariladi, ya'ni  $Q_1$  issiqlikning hammasi  $A$  ishga sarf bo'ladi. Plank ta'rifiga binoan yuqorida aytilgan jarayonni amalga oshirib bo'lmaydi.

Agar ishchi jism isitkichdan olgan issiqlik  $Q_1$  ni faqat bir qismini ishga aylantiradigan va qolgan qismini ( $Q_2$ ) sovitkichga uzatadigan davriy jarayonni amalga oshirish mumkin. Bu real jarayonda  $Q_2$  issiqlik miqdori ishchi jismning siqilish jarayonida, ya'ni ishchi jism boshlang'ich holatiga qaytishida pastroq haroratda  $T_1 > T_2$  bo'lgan sovitkichga uzatadi.  $Q_2$  issiqlik miqdorini qiymati yetarli darajada katta bo'lgani uchun issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

hamma vaqt birdan kichik.



1-rasm.

**2. Klauzius ta'rifi.** "Issiqlik sovuqroq jismdan issiqroq bo'lgan jisimga o'z-o'zidan o'tmaydi". Buni amalga oshirish uchun tashqi manba ish bajarishi kerak. Issiqlik miqdori hamma vaqt issiqroq jismdan sovuqroq jisimga o'z-o'zidan o'tadi.

Klauzius ta'rifi ham jarayonning yo'nalishini ko'rsatadi.

**3. Karno ta'rifi.** "Ideal issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti (F.I.K.) isitkich va sovitkich haroratlari bilan aniqlaniladi".

Karno sikli bo'yicha ishlayotgan issiqlik mashinasining F.I.K.,

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

bu munosabat ham termodinamikaning ikkinchi qonunini ifodalaydi.

**4. Kelvin ta'rifi:** "Sistemani tashkil qilgan jismlarning harorati eng past bo'lgan (sovuqroq) jism issiqligini ishga aylantiradigan issiqlik mashinasini qurish mumkin emas".

Masalan, Yer yuzidagi okeanlarda suv miqdori juda ko'p, agar shu suv havzasidan issiqlikni olish yo'li bilan uning haroratini 0,1 K pasaytira olsak, unda yer sharidagi mashina va dastgohlarni 1500 yil davomida harakatga keltirish mumkin. Bunday mashinalar abadiy ishlaydigan mashinalarning ikkinchi turiga ekvivalent. Lekin abadiy ishlaydigan

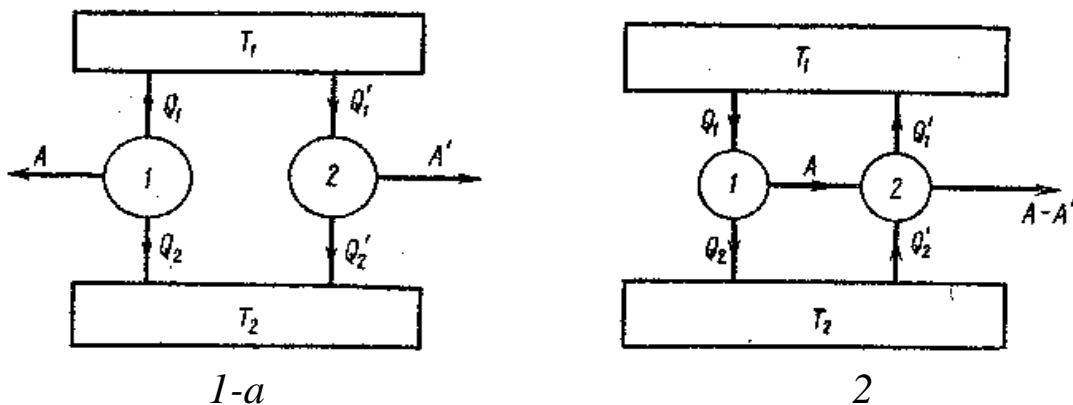
mashinalarning ikkinchi turi termodinamikaning ikkinchi qonuniga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun abadiy ishlaydigan mashinaning ikkinchi turini vujudga keltirib bo'lmaydi.

Juda ko'p yillar davomida muhandislar tomonidan abadiy ishlaydigan mashinalarning birinchi va ikkinchi turining loyihalari tavsiya etilgan va qurishga kirishsishgan lekin bu mashinalarning g'oyalari termodinamika birinchi va ikkinchi qonuniga zid kelganligi uchun abadiy mashinalar ishlanmagan.

### *Karno teoremasi*

Karno siklini tushuntirishda ishchi jism sifatida nafaqat ideal gaz, balki boshqa elastik moddadan ham foydalanish mumkin. Karno sikli quyidagicha asoslangan: Karno siklida ishlayotgan issiqlik majmuasi F.I.K mashina ishlatilgan ishchi jismga bog'liq bo'lmaydi.

Umumiy harorati  $T_1$  issiqlik beruvchi va bu harorat bo'lgan  $T_2$  issiqlik qabul qiluvchi harakatlarga ega bo'lgan va Karno siklida ishlayotgan ikkita bir-biriga birlashtirilgan mashinalarni ko'rib chiqamiz (1a-rasm). Birinchi mashinada ishchi jism sifatida ideal gaz, ikkinchi mashinada esa har qanday elastik modda. Birinchi mashina issiqlik beruvchi mashinadan  $Q_1$  issiqlik miqdori qabul qilib,  $A$  ish bajaradi va issiqlik qabul qiluvchiga  $Q_2$  issiqlik miqdori beradi.



1a-rasm. Ikkita birlashgan issiqlik mashinasining ishlash sxemasi  
 2-rasm. Birlashtirilgan isitkich va sovutkich mashinalarining ishlash sxemasi.

Qaralayotgan jarayonni quyidagi shartga bo'ysunadi deb, ya'ni mashinalar issiqlik beruvchidan bir xil issiqlik miqdori qabul qiladi.

$$Q_1 = Q_1' \quad (1)$$

Agar mashinalar bir xil ish bajarsa ( $A=A'$ ), u holda termodinamika 1-qonuniga asosan  $Q_2=Q_2'$ , mashinalarning foydali ish koeffitsienti (F.I.K) ham bir xil  $\eta=\eta'$ . Agar birinchi mashina F.I.K. ikkinchisidan katta bo'lsa, (1) shartni qanoatlantirgan holda

$$\eta > \eta' \text{ u holda } A > A' \text{ va } Q_2' > Q_2$$

Ikkinchi mashina issiqlik qabul qiluvchiga ishlatilmagan issiqlik miqdori beradi, ikkinchi mashinaga nisbatan. (1) shartni bajargan holda, ikkinchi mashinani sovitkich mashina sifatida birinchi mashina hisobidan ishlashga majbur qilamiz. Shunday qilib, issiqlik berish holatida hech narsa o'zgarmaydi (2-rasm). Birinchi mashina  $A$  musbat ish bajaradi, ikkinchi mashina esa  $A$  dan kichik bo'lib,  $A'$  manfiy ish bajaradi. Ikki mashina ish bajarishi natijasida qo'shimcha  $A-A'$  musbat ish bajaradi. Ikkinchi mashina isitkichdan  $Q_2'$  issiqlik miqdori oladi. Olingan  $Q_2'$  issiqlik miqdori isitkich birinchi mashinadan olayotgan  $Q_2$  issiqlik miqdoridan katta bo'ladi.  $Q_2'-Q_2$  issiqlik miqdorlari farqi  $A-A'$  ish bajarishga sarflanadi.

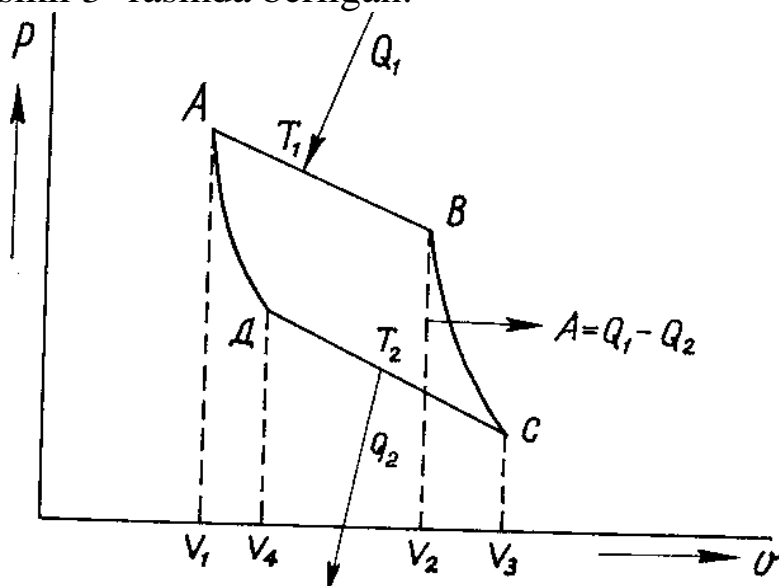
Termodinamikaning 2-qonuni bo'yicha bu jarayon sodir bolishi mumkin emas, chunki F.I.K.  $\eta < \eta'$  dan katta bo'lmaydi,  $\eta > \eta'$ .

### ***Karno-Klauzius teoremasi***

II bosh qonun 1824-yilda S.Karno tomonidan ochilgan va Karno sikli bilan bog'langan. Shunga ko'ra, bu sikl amaliy hamda tarixiy ahamiyatga ega. Karno siklida o'z-o'zicha bormaydigan jarayonlarning borishi uchun ularni o'z-o'zicha boruvchi jarayon bo'lib, jarayon bilan qo'shib birgalikda olib boorish kerakligi yaqqol ko'rsatilgan. Karno siklida o'z-o'zicha bormaydigan issiqlikning ishga aylanish jarayoni o'z-o'zicha boruvchi jarayonning issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o'z-o'zicha o'tish jarayoni bilan qo'shib birgalikda olib borganda amalga oshishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shu bilan birgalikda texnikada amaliy ahamiyatga ega bo'lgan foydali ish koeffitsiyentining nimalarga bog'liqligi va uni oshirish usullari ko'rsatilgan.

Karno sikli  $T_1$  haroratli issiqlik manbai va  $T_2$  haroratli sovitkich rezervuaridan iborat. Ular juda katta hajmda bo'lib, isitkichdan issiqlik olinganda va sovitkichga issiqlik berilganda ularning harorati deyarli o'zgarmaydi. Hamma jarayonlar kvazistatik muvozanat holatidan cheksiz kichik farq qiladigan holatda bosqichlab olib boriladi. Bular esa hamma jarayonni ***termodinamik qaytar ravishda*** olib borishni ta'minlaydi. Karno sikli aylanma jarayon bo'lib, jarayondan so'ng sistema va tashqi muhit

o'zining oldingi holatiga qaytadi. Ikki rezervuar o'rtasida ishchi jism ideal gaz o'rnatilgan, gaz kengaygan, qisilganda porshen ideal holatda harakat qiladi. Karno sikli 3- rasmda berilgan.



3-rasm. Karno sikli.

Karno siklida ish bajarish siklik, ya'ni aylanma jarayon natijasida amalga oshiriladi. Bu sikl birin-ketin boradigan to'rtta qaytar jarayondan iborat.

- gazning izotermik kengayishi, AB izotermasi
- gazning adiabatik kengayib, sovishi, BC adiabatasi
- gazning izotermik siqilishi, SD izotermasi
- gazning adiabatik siqilib isishi, DK adiabatasi

a) 1 mol ideal gaz issiqlik manбайдan  $Q$  issiqlik olib  $T_1$  haroratda  $V_1$  dan  $V_2$  gacha AB izoterma bo'lib, qaytar tarzda kengaysin; bunda sistema bajargan ish  $A_1$  bo'lsin sistemaning bajargan ishi musbat (+), sistema ustidan bajarilgan ish manfiy (-) ishora bilan belgilanadi:

$$A_1 = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

Bu ish miqdori AB  $V_2V_1A$  kvadrat yuzasiga teng bo'ladi.

b) birinchi jarayon natijasida B nuqtaga kelgan gazni issiqlik manбайдan ajratib, adiabatik ravishda (ya'ni  $Q=const$ )  $V_3$  gacha kengaytiramiz. Bu kengayishda sistema issiqlik manбайдan ajratilmaganligi sababli o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi.

$$A_2 = -dU = C_v (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Bu ish miqdori BC  $V_3V_2B$  kvadrat yuzaga teng.

v) sistema  $T_2$  haroratda CD izotermasi bo'ylab,  $V_3$  dan  $V_4$  gacha siqiladi, sistema ustidan bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$-A_3 = RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (3)$$

Ish miqdori  $SD V_4 V_3$  kvadrat yuzaga teng.

g) siklning oxirida ideal gaz  $V_4$  dan dastlabki hajmi  $V_1$  gacha DA bo'ylab adiabatik siqilganida bajarilgan ish:

$$A_4 = \Delta U = C_v (T_1 - T_2) \quad (4)$$

bu ish AD  $V_4, V_1$  A kvadrat yuzaga teng.

Agar  $Q_1$  isitkichdan olingan va  $Q_2$  sovitgichga berilgan issiqlik bo'lsa, umumiy bajarilgan ish

$$A = Q_1 - Q_2 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$A_2$  bilan  $A_4$  ning qiymati teng, lekin ishorasi qarama-qarshi bo'lganligidan

$$A = Q_1 - Q_2 = A_4 + A_3 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (5)$$

BC va DS adiabatik jarayonlarda Puasson formulasi tatbiq etilsa: BC jarayon uchun:  $T_1 V_2^{k-1} = T_2 V_3^{k-1}$

DA jarayon uchun:  $T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_4^{k-1}$

bo'ladi, ularni biri-biriga bo'lib,  $k-1$  darajali ildizni olsak,  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$  bo'ladi.

Buni (5) tenglamaga qo'ysak,

$$A = Q_1 - Q_2 = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Bu ish ABCD kvadrat yuzasiga teng.

Bu tenglamaning o'ng tomonini  $Q_1$  ga, chap tomonini unga teng bo'lgan  $RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$  ga bo'lsak:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (6)$$

bo'ladi.

$Q_1 - Q_2$  ayirma isitkichdan olingan issiqlikning ishga aylangan qismini ifodalaydi, uning  $Q_1$  ga nisbatan foydali ish koeffitsiyenti (FIK) dir.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (7)$$

Shunday qilib, F.I.K. isitkich va sovitkichning haroratlari ayirmasiga bog'liq bo'lib, jism qanday materialdan tashkil topganligiga, uning tabiatiga bog'liq emas (**Karno-Klauzius nazariyasi**). Issiqlikning ishga aylanishi imkoniyati (7) tenglama bilan chegaralangan bo'lib, doimo birdan kichik bo'ladi va qaytar ravishda ishlovchi har qanday mashinaning foydali ish koeffitsiyenti (7) tenglamadan ko'p, ya'ni Karno sikli foydali ish koeffitsiyetidan ko'p bo'lishi mumkin emas.

Bir xil harorat chegarasida ( $T_1-T_2$ ) qaytmas ishlovchi mashinalar bo'lsa, doimo noqaytar ishlovchi mashinaning F.I.K. hamisha kam bo'ladi. Mashinaning ishlash jarayonida qanday bo'lmasin qaytmas jarayon borsa, masalan, ishqalanish natijasida ish issiqlikga aylansa. u F.I.K.ning kamayishiga olib keladi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, jarayon qaytar jarayonga yaqinlashgan sari ko'p ish bajariladi (chiziqlarda pastki yuza). Shunday qilib, qaytar ravisha ishlovchi mashinaning F.I.K. eng ko'p bo'ladi va maksimum ish bajariladi, bu ishga  $A_{Mak}$  **maksimum ish** deyiladi:

### ***Real issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsienti***

Real issiqlik mashinalarida issiqlik miqdorining yo'qotilishi albatta, bo'ladi, lekin bu yo'qotish ideal issiqlik mashinalarida e'tiborga olinmaydi, ***shuning uchun real issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsienti hamma vaqt ideal issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsientidan kichik bo'ladi.***

Har qanday real mashina uni o'rab turgan, harorati past bo'lgan atrof-muhit bilan bo'ladigan issiqlik almashinuvi vaqtida o'zining ma'lum issiqlik miqdorini yo'qotadi. Bu yo'qotilgan issiqlik miqdorini  $Q_3$  bilan belgilaymiz. Bundan tashqari, har qanday real mashinada bo'ladigan ishqalanish kuchini engish uchun  $Q_4$  issiqlik miqdori ham sarflanadi. Shunday qilib, real mashinaning ishi

$$A=Q_1-Q_2-Q_3-Q_4=Q_1-Q_2 \quad (1)$$

bu yerda.

$$Q_2 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

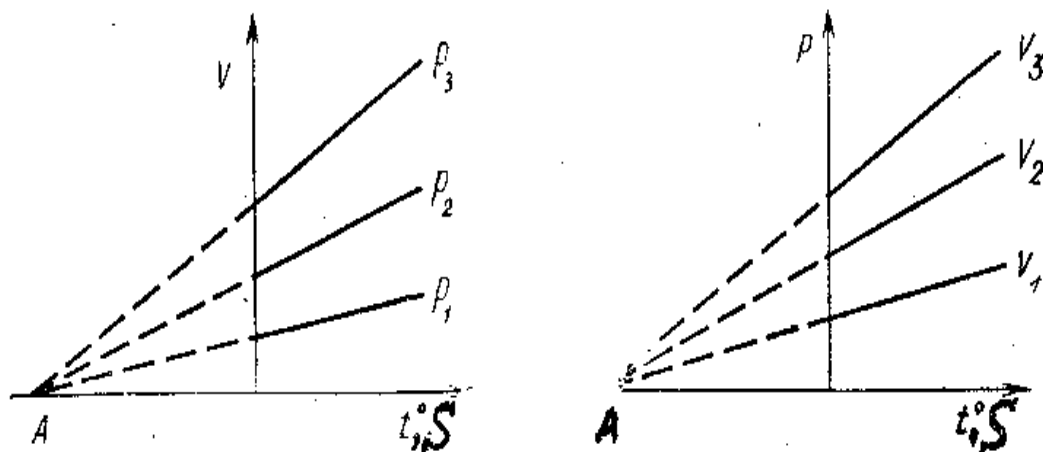
Real issiqlik mashinasi uchun foydali ish koeffitsientini topish formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

### ***Absolyut harorat shkalasi***

Izobarik va izoxorik jarayonlarni qaraganimizda mos ravishda hajmining va bosimning haroratga bog'liq holatda o'zgarishini ko'rib o'tdik. Unda Gey-Lyussak va Sharl qonunlarini ifodaladik. Agar izobarik jarayonlarda  $0^0S$  dagi gaz bosimlari har xil qiymatga ega bo'lganda ham, u ordinata o'qidan kesilgan kesimlardan ko'rinadiki, haroratni pasaytirsak, izobaralar absissa o'rining bitta nuqtasini kesadi (4 rasm). Xuddi shu kabi

izoxorik jarayonda  $0^{\circ}\text{S}$  dagi hajmlar har xil qiymatga ega bo'lganda haroratni pasaytirsa borsak, izixoralar absissa o'qining bitta nuqtasini kesadi (4- rasm). Ana shu kesishish nuqtasi (A) dagi harorat qiymati yuqorida aniqlaganimizdek  $-273,15^{\circ}\text{S} \approx 273^{\circ}\text{S}$  ga teng. Bu nuqtaga *haroratning absolyut noli* deb aytiladi.



4-rasm. Absolyut harorat shkalasini aniqlash.

Absolyut harorat bo'yicha hisoblash uchun koordinata boshlarini  $273^{\circ}\text{S}$  ga ko'chirganimizda ular orasida quyidagi bog'lanish bor ekanligi aniqlaniladi.

$$T = 273^{\circ} + t^{\circ} \quad (1)$$

Bu ifodada  $T$  – Kelvin shkalasi bo'yicha olingan absolyut harorat va birligi  $K$  bilan belgilanadi.

$t^{\circ}$  – Selziy shkalasi bo'yicha hisoblangan harorat, u  $^{\circ}\text{S}$  bilan ifodalaniladi.

(1) formulani e'tiborga olsak, Sharl va Gey-Lyussak qonunlarini ifodalovchi tengliklar quyidagi ko'rinishni oladi.

$$P_T = P_0 \alpha_p T,$$

$$V_T = V_0 \alpha_v T.$$

(1) ifodani boshqa formulalardan foydalangan holda ham keltirib chiqarish mumkin. Buni talabalarning o'zlariga havola qilamiz.

(1) ifodadan ko'rinadiki:

- 1) Selziy shkalasini olishda normal sharoitda muzning erish harorati  $0^{\circ}\text{S}$  bilan suvning qaynash harorati  $100^{\circ}\text{S}$  oraliq'ida tanlangan. Kelvin esa shu oraliqni 273 K va 373 K deb olgan, shuning uchun bu shkalalardagi haroratlar birligining qiymati teng, ya'ni  $1 \text{ K} = 1^{\circ}\text{S}$ .
- 2) Ikkala shkala bo'yicha haroratlar farqi bir xil, ya'ni  $\Delta T = \Delta t^{\circ}$ .
- 3) Bu haroratlar boyicha olingan hosilalar ham bir xil bo'ladi:

$$df/dT = df/dt_0$$



## Entropiya

$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  tenglamani quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \quad 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}; \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

yoki

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}; \quad \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (1)$$

Olingan yoki berilgan issiqlikning shu issiqlik manbai haroratiga nisbati  $Q/T$  ga **keltirilgan issiqlik** deyiladi.

$Q_1$  bilan  $Q_2$  teng bo'lmasa ham  $Q_1/T_1$  va  $Q_2/T_2$  ning o'zaro tengligi (1) tenglamadan ko'rinib turibdi. Shunday qilib,  $Q/T$  yo'lga bog'liq emas, ya'ni to'liq funksiyalardir.

Agar Karno sikli bir necha kichik sikllardan tashkil topgan deb faraz qilinsa, bunda birinchi siklning sovutkichi ikkinchi siklning issiqlik manbai bo'lib, bu manba olgan issiqlikning hammasini ikkinchi sikliga bersa, ikkinchi siklning sovutkichi uchinchi siklning issiqlik manbai bo'ladi va hokazo, u holda (1) tenglamani quyidagi shaklda yozish mumkin.

$$\frac{\delta Q_1}{T_1} - \frac{\delta Q_2}{T_2} + \frac{\delta Q_2}{T_2} - \frac{\delta Q_3}{T_3} + \dots = 0$$

yoki

$$\sum \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad (2)$$

yoki

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$\oint$  ishorasi yopiq kontur bo'yicha olingan integralni ifodalaydi. Matematika nazariyasiga muvofiq, agar yopiq kontur bo'yicha olingan integral nolga teng bo'lsa, shunday bir funksiya borki, uning to'la differensial integral ostidagi ifodaga teng bo'ladi. Bu funksiya  $S$  bilan belgilanadi. Bu funksiyani Klazius entropiya deb atagan.  $S$  ning to'la differensial

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \quad (3)$$

bo'ladi.

Entropiya qiymati  $J/kmol \cdot grad$  ( $\frac{kal}{mol \cdot grad}$ ) bilan ifodalanadi.

**Entropiya ham**, xuddi sistemaning ichki energiyasi singari sistemaning holat funksiyasi (to'liq funksiya) bo'lib, uning o'zgarishi faqat sistemaning dastlabki va oxirgi holatiga bog'liq, jarayonning yo'lga

bog'liq emas. Shunga ko'ra sistema 1-holatdan 2-holatga kelsa, entropiyaning o'zgarishi

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = s_2 - s_1 \quad (4)$$

bilan ifodalaniladi. 1909-yilda grek matematigi Karateodor entropiyaning haqiqatda ham mavjudligini isbotladi va termodinamikaning II bosh qonunini hech qanday farazsiz matematik usullar bilan ta'riflanadi.

**Entropiya** moddaning miqdoriga bog'liq, demak ekstensiv miqdordir. **Entropiya** additiv (yig'indi) miqdordir, ya'ni sistema entropiyasi uni tashkil etgan tarkibiy qismlar entropiyasi yig'indisiga teng. Uning o'zgarishi esa ayrim bo'laklar entropiyasi o'zgarishi yig'indisiga teng, murakkab jarayonlar entropiyasining o'zgarishi jarayonni tashkil etuvchi ayrim jarayonlar entropiyalarining o'zgarishlari yig'indisiga teng.

### ***Ikkinchi bosh qonunning asosiy tenglamasi***

Yuqorida bayon etilganidek, entropiyaning qiymati isitkichdan olingan (yoki sovitkichga berilgan) issiqlik miqdoriga va bu jaryon qaysi haroratda borganligiga bog'liq, ya'ni  $S = \varphi(Q, T)$ . Bu bog'lanish turli jarayonlar uchun turli ko'rinishda ifodalanadi. Karno sikliga ko'ra qaytar jarayonlarda bu bog'lanish:

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \quad (1)$$

yoki

$$\delta Q = T ds \quad (2)$$

shaklida ifodalaniladi.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ tenglamadan}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$$

Qaytmas jarayonlarda issiqlik manбайдan olingan issiqlikning qaytar jarayonga nisbatan kamroq qismi ishga aylanganligidan, ya'ni qaytar bo'lganligidan,

$$\left(\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right)_{qaytar} > \left(\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right)_{qaytmas} \quad (1a)$$

$$\delta Q_{qaytar} > \delta Q_{qaytmas} \quad (2a)$$

demak, (1) va (2) tenglamalardan har qanday qaytmas jarayon uchun:

$$ds > \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

yoki

$$TdS > dQ \quad (4)$$

(1) va (3) tenglamalarni birlashtirib quyidagicha yozish mumkin.

$$ds \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (5)$$

va

$$TdS \geq \delta Q \quad (6)$$

Tenglik ishorasi (=) qaytar va tengsizlik ishorasi (><) qaytmas o'z-o'zicha boradigan jarayonlarga mansub. **Bu tenglamalar ikkinchi bosh qonunning asosiy tenglamasi** bo'lib, uning matematik ifodasidir. Bu (6) tenglamaning qiymati birinchi qonunning asosiy tenglamalariga qo'yilsa, birinchi va ikkinchi bosh qonunning umumlashgan tenglamasi kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} TdS &\geq dU + \delta A \\ TdS &\geq dU + PdV \end{aligned} \quad (7)$$

Umuman, jarayonning bajargan ishi foydali ishdan va kengayishi mexanik ishdan iborat bo'lishi mumkin.

$$\delta A = \delta A' + PdV$$

Bu yerda  $A'$  foydali ish,  $PdV$  – kengayishning mexanik ishi, (7) tenglamadan:

$$\delta A \leq TdS - dU \quad (8)$$

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, bir xil isitkich va sovitkich orasida qaytar va qaytmas ravishda ishlaydigan mashina ishlasa, qaytar ishlovchi mashina ko'p ish bajaradi va bu ish **maksimum ish** –  $A_{max}$  deyiladi. Shunga ko'ra, mashinaning F.I.K. ni oshirish uchun mumkin qadar qaytar tarzda ishlatishga intilish kerak. A qaytmas ishlovchi mashinaning bajargan ishi bo'lsa,

$$\alpha = \frac{A}{A_{max}} \leq 1 \quad (9)$$

$\alpha$  qaytarlik darajasi.  $\alpha$  qancha katta bo'lsa, qaytarlik darajasi shuncha yuqori bo'ladi va  $\alpha$  1 ga yaqinlashadi.

### ***Jarayonlarning yo'nalishi va muvozanatning shartlari***

Izolyatsiyalangan sistemada jarayonning qaysi tomonga yo'nalishini va qaysi sharoitda muvozanat qaror topishini entropiyaning ozgarishidan bilish mumkin. Izolyatsiyalangan sistema atrofda energiya olmaydi va bermaydi, y'ani almashinish bo'lmaydi. Shunga ko'ra izolyatsiyalangan sistemada  $U=const$ ,  $du=0$  va  $V=const$  bo'ladi.

$$ds \geq \frac{\delta Q}{T} \quad \text{va} \quad TdS \geq \delta Q$$

tenglamalar izolyatsiyalangan sistemaga nisbatan qo'llanilsa va bu sistema  $Q=const$  ekanligi nazarda tutilsa, tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} ds &\geq 0; \\ S_2 - S_1 &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi o'zgarmaydi (yoki ortadi). Demak, qaytar jarayonlarda:

$$ds = 0 \text{ yoki } \Delta S = 0 \quad (2)$$

Demak, izolyatsiyalangan sistemada qaytar jarayon borganda entropiya o'zgarmaydi. Qaytmas jarayon borganda (1) tenglamaga mufoviq

$$ds > 0 \text{ yoki } \Delta S > 0 \quad (3)$$

bo'ladi.

***O'z-o'zicha boradigan barcha jarayonlar qaytmas bo'lganligidan sistemada entropiya ortadi.*** Buni quyidagicha ta'riflash mumkin. Izolyatsiyalangan sistemada jarayonning ikki tomonga borishi mumkin bo'lsa, faqat sistemaning entropiyasi ortadi va o'z-o'zicha boradigan jarayonlar sodir bo'ladi, ya'ni sistema entropiyasini oshiradigan jarayonlarga o'z-o'zicha borishi mumkin. Agar entropiya kamaysa  $\Delta S < 0$  jarayon bormaydi.

Qaytmas jarayonda entropiyaning ozgarishini kuzataylik:  $T_A$  va  $T_B$  haroratli ikki jism - A, B berilgan bo'lsin. Faraz qilaylik, A dan B ga  $Q$  miqdorda issiqlik o'tsin. Ma'lumki, bu jarayon qaytmas jarayon, "1" ishora sistemaning so'nggi holatini ifodalasin, A va B moddalarda entropiyaning o'zgarishi;

$$\begin{aligned} S_{A2} - S_{A1} &= -\frac{Q}{T_A} \\ S_{B2} - S_{B1} &= +\frac{Q}{T_B} \end{aligned}$$

Entropiyaning umumiy o'zgarishi -  $\Delta S_T$  o'zgarishlar yig'indisiga teng:

$$\Delta S = (S_{A2} - S_{A1}) + (S_{B2} - S_{B1}) = -\frac{Q}{T_A} + \frac{Q}{T_B} = \frac{Q(T_A - T_B)}{T_A T_B}$$

Shartimiz bo'yicha  $T_A > T_B$ ; demak  $\Delta S$  noldan katta bo'ladi.

$$\Delta S > 0; \quad (S_2 - S_1) > 0 \quad (4)$$

Izolyatsiyalangan sistemada jarayon borishi bilan uning entropiyasi ham orta boradi, shu bilan bir qatorda u muvozanat holatiga yaqinlash boradi. Entropiya maksimal qiymatga yetganda, muvozanat qaror topadi. Shunday qilib, izolyatsiyalangan sistemada boradigan jarayonlarda termodinamik muvozanat shartini quyidagicha yozish mumkin:

$$dS=0; \quad d^2S<0 \quad (5)$$

Agar ish issiqlikka aylansa, II qonun bo'yicha, bu issiqlikni qaytadan to'liq ishga aylantirib bo'lmaydi, natijada energiyaning ish bajarish xususiyati pasayadi, shu ma'noda energiya qadrsizlanadi. Ikkinchi tomondan, jarayon qaytmas bo'lganligidan bu vaqtda entropiya ortadi. Shunday qilib, *entropiyaning ortishi energiyaning qadrsizlanishi o'lchovi sifatida xizmat qiladi.*

### *Turli jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi*

Tabiatdagi barcha real jarayonlar qaytmas jarayonlar ekanligi yuqorida qayd qilindi. Qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi

$$ds \geq \frac{\delta Q}{T}$$

va

$$TdS \geq \delta Q$$

tenglamalar bilan ifodalaniladi. Lekin bu tenglamalar tengsiz bo'lganligidan ulardan foydalanib, entropiya o'zgarishini hisoblab chiqarish mumkin emas. Ikkinchidan entropiyaning holat funksiyasi bo'lib, uning o'zgarishi jarayonning qaytar yoki qaytmas tarzda borishiga bog'liq emas, ya'ni bu ikki xil jarayonda entropiyaning o'zgarishi bir xil.

Faqat  $\Delta Q_{qaytar} > Q_{qaytmas}$  va  $A_{qaytar} > A_{qaytmas}$  bo'lganidan  $ds > \frac{\delta Q}{T}$  bo'ladi. Turli

jarayonlarda entropiyaning o'zgarishini hisoblashda  $ds > \frac{\delta Q}{T}$  yoki

$\delta Q = Tds$  ifodadan foydalaniladi:

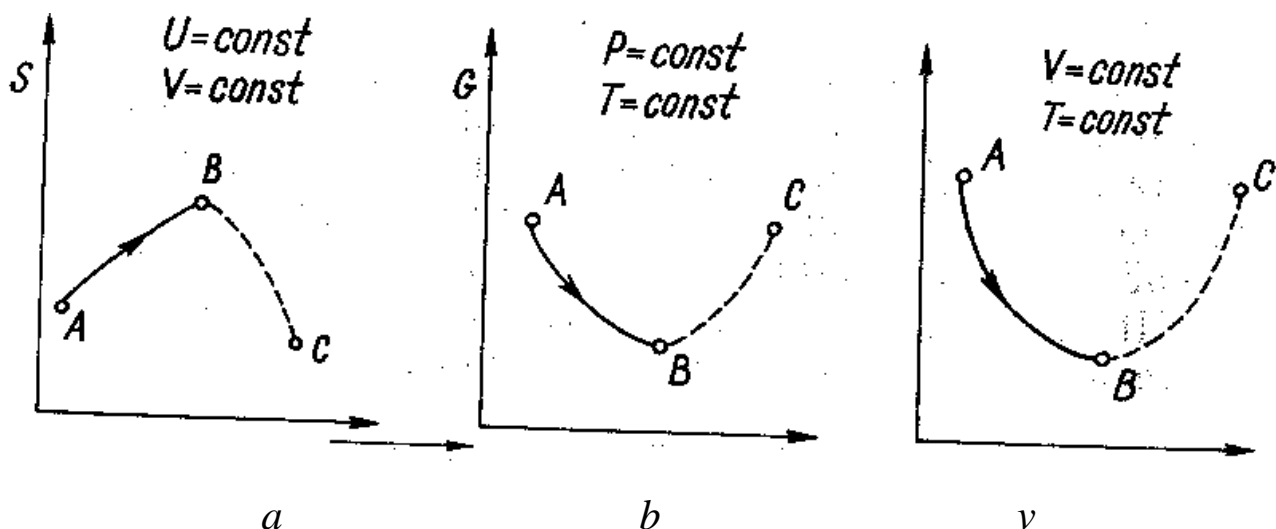
$$\delta Q = Tds \quad (1)$$

Buning uchun bu tenglamaning ikki holat uchun integrallash kerak:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (2)$$

$S_1, S_2$  – entropiyaning dastlabki va so'nggi holatidagi qiymati. Shu uzusldan foydalanib, ba'zi jarayonlarda entropiyaning o'zgarishini hisoblaymiz.

**Izotermik jarayon** ( $T=const$ , 5-rasm). Bu xil jarayonlarga moddaning faza o'zgarishi, ya'ni bir agregat holatdan ikkinchi agregat holatga, bir kristall moddadan ikkinchisiga o'tishi kabi jarayonlar misol bo'ladi. Bu jarayonlarda  $T$  turg'un bo'lganligidan (2) tenglamadagi  $T$  ni integralning tashqarisiga chiqarib, jarayonning yo'nalishi ma'lum bo'lganligidan (izotermik jarayon)  $\delta Q \rightarrow \delta q$  ni olamiz:  $Q$  – to'la funksiya xossasiga ega,  $\delta Q$  ni integrallash mumkin.



5-rasm. Entropiyaning  $T=const$  (a),  $P=const$  (b),  $V=const$  (v) jarayonlarning borishidagi o'zgarishi.

AB o'z-o'zicha boruvchi, BC o'z-o'zicha bormaydigan qaytmas jarayonlar, B muvozanat holat

$$ds = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T_1} \int_1^2 \delta Q = \frac{Q_T}{T}; \quad s = \frac{Q_T}{T} \quad (3)$$

$Q_T$  entropiyaning issiqlik effekti (yashirin o'tish issiqligi). Agar jarayon turg'un bosimda borsa:

$$Q_T = \Delta H$$

Demak,

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T} \quad (4)$$

$T$  – o'tish harorati.

Modda yuqori haroratli holatda bo'lsa, uning entropiaysi katta bo'ladi. Masalan, bir mol suvning entropiyasi bir mol muzning entropiyasidan  $22,01 \cdot 10^6$  J oritq.

**Isitish.** Moddalarni turg'un bosimda (izobarik) yoki turg'un hajmda (izoxorik) qizdirish mumkin.

Turg'un bosimda  $n$  – mol moddani  $dT$  haroratgacha qizdirish uchun ketgan issiqlik:

$$\delta Q = n C_p dT \quad (5)$$

Q ning bu qiymati (2) tenglamaga qo'yilsa:

$$dS = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T}$$

Bu inetgrallarni yechish uchun  $C_p$  ning haroratga bog'liq holda o'zgarishini bilish kerak. Lekin katta aniqlik talab qilinmaganda yoki haroratning kichik oralig'ida  $C_p = const$  deb qabul qilish mumkin: U holda:

$$\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = n C_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = n C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (6)$$

bo'ladi.

Shuningdek, agar jarayon izoxorik bo'lsa:

$$\Delta S = n C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (7)$$

(6) va (7) tenglamalardan ma'lum bo'lishicha qizdirilganda moddalarning entropiyasi ortar ekan.

**Modda holatining o'zgarsih; gazlarning temperaturasi hajmi va bosimi o'zgariganda entropiyasi ham o'zgaradi. Ideal gaz holatlarining o'zgarishini kuzataylik. I va II bosh qonunning muvozanat jarayonlari uchun umumlashgan tenglamasi**

$$TdS \geq dU + \delta A$$

va

$$TdS \geq dU + PdV$$

dan

$$TdS = dU + pdV$$

yoki

$$ds = \frac{dU}{T} + \frac{P}{T} dV$$

lardan foydalanamiz:  $dU = n C_v dT$ ;  $p = \frac{nRT}{V}$  qiymat yuqoridagi tenglamaga qo'yilsa, ideal gazlar uchun quyidagicha bo'ladi:

$$ds = n C_v \frac{dT}{T} + \frac{nR}{V} dV$$

Bu yerda  $C_v = const$ , ya'ni  $C_v$  haroratga qarab o'zgarmaydi deb faraz qilib, tenglama integrallansa,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = n C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (8)$$

hosil bo'ladi.

Agar  $T_1 = T_2$  bo'lsa, ya'ni gazning  $V_1$  dan  $V_2$  gacha kengayishi izotermik borsa,  $\ln \frac{T_2}{T_1} = 0$  bo'lganligidan

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (9)$$

Demak, gaz kengayiganda uning entropiyasi ortar ekan.

Ikki holat tenglamalari  $P_1 V_1 = RT_1$  va  $P_2 V_2 = RT_2$  dan ideal gazlar uchun  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2 P_1}{T_1 P_2}$  bo'lganligidan,  $V_2/V$  ning qiymati (8) tenglamaga qo'yilsa:

$$\Delta S = n C_p \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Agar  $T_2=T_1$  bo'lsa,

$$\Delta S = nR \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (10)$$

bo'ladi.

Demak, gazning bosimi ortishi bilan uning entropiysi kamayar ekan.

Ideal gazlar qonuniga muvofiq  $\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1}$  va  $\frac{T_2}{T_1}$  ning bu qiymati (8)

tenglamaga qo'yilsa:

$$\Delta S = nC_v \ln \frac{P_2}{P_1} + nC_p \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (11)$$

**Gazlarning aralashishi – diffuziya.** Ikki xil gaz devor bilan ajralgan bo'lsin, birinchi gazdan  $n_1$  mol (hajmi  $V_1$ ) va ikkinchisidan  $n_2$  mol (hajmi  $V_2$ ) olaylik. Devordagi teshik orqali gazlar bir-birida diffuziyalansin. Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng butun hajmda ( $V_1+V_2$ ) ikkala gaz bir tekisda taqsimlansin. Bu jarayon turg'un harorat va turg'un bosimda borsin. Bu jarayon natijasida birinchi gaz  $V_1$  dan ( $V_1+V_2$ ) gacha, ikkinchi gaz esa  $V_2$  dan ( $V_1+V_2$ ) gacha kengayadi. (9) tenglamaga muvofiq birinchi gaz entropiyasining o'zgarishi:

$$\Delta S_1 = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1}$$

Ikkinchi gaz entropiyasining o'zgarishi:

$$\Delta S_2 = n_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1}$$

Entropiyaning umumiy o'zgarishi:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + n_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} \quad (12)$$

Agar  $N_1, N_2$  gazlarning mol nisbatlari bo'lsa va

$$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$$

va

$$N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

bu qiymatlar (12) tenglamaga qo'yilsa:

$$\Delta S = -R(n_1 \ln N_1 + n_2 \ln N_2)$$

Agar entropiyaning o'zgarishi bir mol gazlar aralashmasidan hosil bo'lgan gazlar aralashmasiga nisbatan hisoblansa:

$$\Delta S = -R \left( \frac{n_1}{n_1 + n_2} \ln N_1 + \frac{n_2}{n_1 + n_2} \ln N_2 \right)$$

yoki

$$\Delta S = -R(N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2) \quad (12a)$$



Bu jarayonda sistema entropiyasining ortishi yuqoridagi tenglamalardan ko'rinib turibdi.

***Gibbs energiyasi. Gelmogols energiyasi  
(izotermik potentsiallar)***

Izolyatsiyalangan sistemada jarayonning yo'nalishini va muvozanatning qaror topish shartini entropiya qiymatlarining o'zgarishi ifodalaydi. Izolyatsiyalanmagan sistemada turg'un haroratda boradigan jarayonlarda bu vazifani Gibbs energiyasi va Gelmogols energiyasi bajaradi. Bu ikkala funksiya 1960-yilgacha izotermik potentsiallar deb, Gelmogols energiyasi – izoxorik potentsial yoki erkin energiya, Gibbs energiyasi-izobarik potentsial yoki termodinamik potentsial deb yuritiladi. Hozir ham “izotermik potentsial” atamasi ishlatilib turiladi. Gelmogols va Gibbs energiyalari holat funksiyasi, ya'ni to'liq funsiya bo'lganligidan Gelmogols funksiyasi, Gibbs funksiyasi deb ham ataladi.

Ko'p jarayonlar izotermik-izoxorik ravishda-turg'un harorat va turg'un hajmda ( $T=Const, V=Const$ ) yoki izotermik izobarik ravishda turg'un harorat va turg'un bosimda ( $T=Const, P=Const$ ) boradi. Shunga ko'ra, izotermik-izoxorik jarayonlarda Gelmogols energiyasi (funksiyasi), izotermik-izobarik jarayonlarda Gibbs energiyasi (funksiyasi) qo'llaniladi. Gelmogols energiyasi, odatda F harfi bilan belgilanadi. Gibbs energiyasi G harfi bilan belgilanadi.

***Izotermik-izoxorik jarayonlarda uning yo'nalishini va muvozanat shartini Gelmogols energiyasi qiymati, izotermik-izobarik jarayonlarda Gibbs energiyasi qiymati o'zgarishini ifodalaydi.***

***Gelmogols funksiyasi.*** Izotermik-izoxorik jarayonlarga I va II qonunlarning asosiy tenglamasini tatbiq etamiz.

$$TdS \geq dU + \delta A$$

yoki

$$\delta A \leq TdS - dU$$

Sistema I holatdan II holatga kelganda, bu funksiyalar qiymatining o'zgarishini aniqlash uchun yuqoridagi ifodani  $T=Const$  holda integrallash kerak:

$$A \leq T(S_2 - S_1) - (U_2 - U_1)$$

yoki

$$A \leq (U_1 - TS_2) - (U_2 - TS_2)$$

Agar

$$F=U-TS \quad (1)$$

deb qabul qilinsa:

$$A \leq F_1 - F_2 = \Delta F \quad (2)$$

$F$  – Gelmgols funksiya.

Shunday qilib, izotermik-izoxorik jarayonda bajarilgan ish Gelmgols funksiyaning **kamayishiga** teng yoki undan kichik bo'ladi.

Agar jarayon qaytar bo'lsa, maksimal ish  $A_{\max}$  bajariladi va u Gelmgols funksiyaning kamayishiga teng bo'ladi:

$$A_{\max} = -\Delta F \quad (3)$$

Agar jarayon qaytar bo'lmasa, bajarilgan ish Gelmgols funksiyaning kamayishidan kam bo'ladi:

$$A < -\Delta F \quad (4)$$

(1) tenglamani quyidagicha yozish mumkin.

$$U = F + TS \quad (5)$$

Sistemaning ichki energiyasini ikki energiya yig'indisidan-Gelmgols funksiyasining  $F$  va bog'langan energiya  $TS$  dan iborat deb qarash mumkin. (1,2) tenglamalardan:  $A = -\Delta F = -\Delta(U-TS)$ . Bu tenglamaga muvofiq,  $F$  ichki energiyaning ishga aylanishi mumkin bo'lgan,  $TS$  ishga aylanishi mumkin bo'lmagan qismidir va u faqat issiqlikka aylanadi.

Agar sistemaga tashqaridan faqat bosim tas'ir etayotgan bo'lsa:

$$\delta A = PdV$$

Bu vaqtda:

$$TdS \geq dU + PdV \quad (6)$$

Bundan:

$$du \leq Tds - PdV$$

Ikkinchi tomondan  $F = U - TS$

Bu tenglamalar differensiallansa:

$$dF \leq dU - SdT - TdS$$

Bu tenglamaga (6) tenglamadan  $dU$  ning qiymati olib qo'yilsa:

$$dF < -SdT - PdV \quad (7)$$

Qaytar jarayon uchun:

$$dF = -SdT - PdV \quad (8)$$

Demak:  $(dF/dT)_V = -S$ ;  $(dF/dV)_T = -P$  va izotermik-izoxorik sharoitda ( $T = Const$ ,  $V = Const$ )  $dT = 0$ ,  $dV = 0$  bo'lganligidan:

$$dF = 0$$

izoxorik va qaytmas jarayonlar uchun:

$$dF < -SdT - PdV$$

izotermik- izoxorik sharoitda:

$$dF < 0 \quad (9)$$

Umuman,

$$dF \leq 0 \quad (10)$$

Bundan ma'lumki, *turg'un harorat va turg'un hajmda qaytar jarayon boranda Gelmgols funksiyasining qiymati o'zgarmaydi. – qaytmas o'z- o'zicha boradigan jarayon sodir bo'lganda Gelmgols funksiyasining qiymati kamayadi, ya'ni bu sharoitda jarayon Gelmgols funksiyasi kamayadigan yo'nalishda boradi. Gelmgols funksiyaning qiymati minimumga yetganda, muvozanat qaror topadi.* Demak, muvozanat shartining matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$dF=0 \quad dF>0 \quad (11)$$

**Gibbs funksiyasi.** Turg'un harorat va turg'un bosimda boradigan jarayonlarning yo'nalishini va muvozanat shartini Gibbs funksiyasi (G) qiymatining o'zgarishi ifodalaydi. Kengayish va mexanik ish bilan bir qatorda, ishning boshqa xillari ham hisobga olinganda umumiy bajarilgan ish:

$$\delta A = \delta A' + PdV$$

A – foydali ish. Ishning bu qiymati  $TdS \geq dU + \delta A$ ;  $TdS \geq dU + PdV$  tenglamaga qo'yilsa:

$$\delta A' \leq TdS - dU - PdV$$

va bu tenglama integrallansa:

$$A' \leq T(S_2 - S_1) - (U_2 - U_1) - P(V_2 - V_1)$$

yoki

$$A' \leq (U_1 - TS_1 + PV_1) - (U_2 - TS_2 + PV_2)$$

Agar:  $G = U - TS + PV$  deb belgilasak, G – Gibbs energiyasi bo'ladi. Yuqoridagi tenglamadan:

$$A' \leq -\Delta G$$

Izotermik-izobarik sharoitda boradigan qaytar jarayon uchun

$$A_{max} = -\Delta G \quad (12)$$

kelib chiqadi.

Bunda maksimal foydali ish Gibbs funksiyasining kamayishiga teng. Gibbs funksiyasi ta'rifiga muvofiq;

$$G = U - PV + TS = H - TS = F + PV \quad (13)$$

Demak (13) tenglamadan:

$$H = G + TS$$

kelib chiqadi. Bu tenglamadan G – izotermik-izobarik jarayonlarda sistema energiyasi zahirasining ishga aylanishi mumkin bo'lgan qismi.

Agar (13) tenglama differensiallansa:

$$dG = dU - TdS - SdT + PdV + VdP$$

Demak,  $TdS \geq dU + \delta A$ ;  $TdS \geq dU + PdV$  tenglamalarga muvofiq,  $dU \leq SdT - PdV$  ekanligi e'tiborga olinsa va  $dU$  ning qiymati yuqoridagi tenglamaga qo'yilsa:

$$dG \leq -SdT + VdP \quad (14)$$

Qaytar jarayon uchun:

$$dG = -SdT + VdP \quad (15)$$

Qaytmas jarayon uchun:

$$dG < -SdT + VdP \quad (16)$$

Agar jarayon izotermik-izobarik ravishda borsa,  $dT=0$ ,  $dP=0$  bo'ladi va (14) tenglama quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$dG \leq 0 \quad (17)$$

Demak, *o'z-o'zicha boradigan jarayonlarda Gibbs funksiyasining qiymati kamayadi, ya'ni jarayon Gibbs funksiyasining kamayishi tomon boradi. Gibbs funksiyasi minimum qiymatga ega bo'lganda, muvozanat qaror topadi.*

Termodinamik muvozanatning shartiga ko'ra

$$dG=0; d^2G > 0 \quad (18)$$

Shunday qilib,  $S$ ,  $F$ ,  $G$  - larning jarayonlarda o'zgarishi 5-rasmda ifodalangan.

### ***Entalpiya***

Termodinamik sistemaga  $\delta Q$  issiqlik miqdori beramiz. Berilgan issiqlik miqdori termodinamik sistemaning ichki energiyasi  $dU$  ni oshishiga va  $\delta A$  kengayishga bajarilgan ishga sarflanadi. Kengayish izobarik ravishda kechayotgan bo'lsa, u holda termodinamikaning 1-qonuniga asosan:

$$\Delta Q = dU + PdV = d(U + PV)_P \quad (1)$$

$U + PV$  kattalik **entalpiya** deb aytiladi va  $H$  bilan belgilanadi:

$$H = U + PV \quad (2)$$

(1) tenglamani boshlang'ich holat 1 dan oxirgi holat 2 gacha integrallab, quyidagini olamiz

$$\Delta Q = U_2 - U_1 + PV_2 - PV_1 = H_2 - H_1 \quad (3)$$

***Demak, muvozanatdagi izobarik jarayonda entalpiyaning o'zgarishi termodinamik sistemaga berilgan issiqlik miqdoriga teng ekan.***

(2) ifodadan bosim o'zgarimas bo'lganda ( $P = \text{Const}$ )  $T$  bo'yicha hosila olsak, u holda quyidagini yozamiz

$$c_p = \left( \frac{dH}{dT} \right)_p = \left( \frac{dU}{dT} \right)_v + P \left( \frac{dV}{dT} \right) \quad (4)$$

**Demak, bosim doimiy bo'lganda issiqlik sig'imi, izobarik jarayonda entalpiyadan harorat bo'yicha olingan hosilaga teng.**

Yuqorida yozilgan formulalarni izoxorik jarayon formulalari bilan taqqoslasak, u holda izobarik jarayonda entalpiya, izoxorik jarayondagi ichki enargiya kabi bo'lar ekan.

Agar bosim o'zgaruvchan bo'lsa, u holda termodinamikaning 1-qonuni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta Q = dU + PdV - VdP = dH - VdP \quad (5)$$

bu holda issiqlik sig'mi

$$c = \left( \frac{dH}{dT} \right)_p + \left( \frac{dH}{dP} \right)_T \cdot \frac{dP}{dT} - v \frac{dP}{dT} = \left( \frac{dH}{dT} \right)_p + \left[ \left( \frac{dH}{dP} \right)_T - v \right] \frac{dP}{dT} \quad (6)$$

Umumiy holda termodinamik sistema kengayish ishidan boshqa biror ish (masalan, magnitlanish ishi, sirt taranglik kuchlariga qarshi ish) bajarsa, unda termodinamika 1-qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\Delta Q = dH - VdP + \delta A' \quad (7)$$

**Bundan esa, entalpiyaning ichki energiya kabi sistemaning holat funksiyasi ekanligi kelib chiqadi.**

Oldingi mavzularda entalpiya "Gibbs funksiyasi" deb qaralgan edi.

### **Termodinamik potentsiallar**

Izobar termodinamik potentsial yoki Gibbs potentsiali deb, quyidagi kattalikka aytiladi.

$$Z = U - T \cdot S + P \cdot V = F + P \cdot V = H - T \cdot S \quad (1)$$

Qaytar izotermik va izobarik jarayonlar uchun (1) ifodaning differensiali quyidagini beradi.

$$dZ = dU - T \cdot dS + P \cdot dV + VdP = -SdT + VdP = 0 \quad (2)$$

Termodinamikaning asosiy qonunidan izotermik va izobarik jarayonlar uchun  $dU - TdS = -PdV$ . Demak, sistemaning muvozanat holatida termodinamik potentsial va erkin energiya **minimum qiymat** oladi. Izoxorik va izotermik jarayonlarda esa

$$dF = dU - T \cdot dS - SdT = -PdV - SdT = 0 \quad (3)$$

**Erkin energiya, entropiya va ichki energiya termodinamik potentsiallar hisoblanadi.** Bu shundan kelib chiqadiki, muvoznatlashgan jarayonlarda (izobarik, izoxorik va h.k.) ularda ayrim sistema parametrlari o'zgarimas saqlanadi va termodinamik potentsialning kasmayishi sistema tomonidan bajarilgan ishga teng bo'ladi.

(1), (2), (3) tenglamalarni differensiallash yo'li bilan muhim munosabatlarni olish mumkin. Haqiqatdan ham,

$dF = -PdV - SdT$  dan

$$(dF/dT)_V = -S; \quad (dF/dV)_T = -P \quad (4)$$

$dZ = -SdT + VdP$  dan esa

$$(dZ/dT)_P = -S; \quad (dZ/dP)_T = V \quad (5)$$

$dH = dU + dVP + VdP = TdS + VdP$  ekanligidan

$$(dH/dS)_P = T; \quad (dH/dP)_S = V \quad (6)$$

Termodinamikaning asosiy tenglamasi  $TdS = dU + PdV$  dan quyidagini olamiz.

$$(dU/dS)_V = T; \quad (dU/dV)_S = -P \quad (7)$$

### ***Termodinamik ehtimollik va entropiya. Termodinamika ikkinchi qonunining statistik xarakterda ekanligi***

Molekulalarning issiqlik harakati boshqa harakat shakllaridan (xaotikligi, ya'ni tartibsizligi bilan) farq qiladi. Molekulalarning issiqlik harakatini xarakterlash uchun maxsus molekulyar tartibsizlik darajasining miqdor o'lchovini kiritish kerak.

Masalan, biror gaz molekulalarining hajmi bo'yicha taqsimotini ko'rsak, gazning har xil mikroskopik holatlari har xil ehtimollikka ega ekanligini aniqlashimiz mumkin.

Umuman, gazning mikroskopik holati bu bir-biriga yaqin bo'lgan mikroskopik holatlarni almashinishi bilan ifodalaniladi. Bu mikroskopik holatlar bir-birdan hajmining har xil qismida molekulalarning taqsimoti va har xil molekulalar o'rtasida energiya taqsimoti bilan faqr qiladi. Mana shu bir-birini uzluksiz almashtirayotgan mikroholatlar soni  $W$  butun sistema makroskopik holatining tartibsizlik darajasini xarakterlaydi. Statistik fizikada  $W$  kattalik berilgan makroholatning ***termodinamik ehtimolligi deyiladi.***

Termodinamik ehtimollik kattaligi ***entropiya*** bilan bog'langan, chunki bu ikkala kattalik muvozanat holatga eng katta qiymatga ega bo'ladi, har qanday termodinamik sistemaning muvozanat holatiga o'tishi entropiyaning ham, termodinamik ehtimollikning ham ortishiga olib keladi.

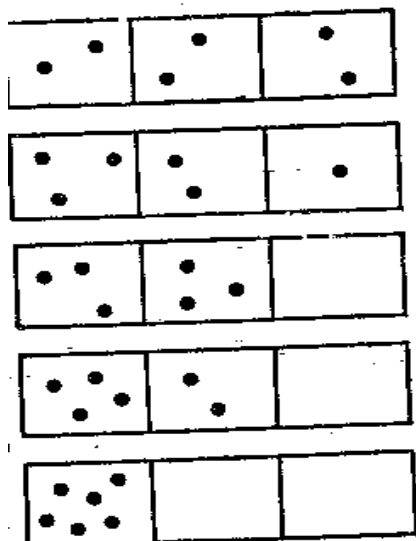
Sistemaning tartibsizlik darajasi bilan uning entropiyasi o'rtasida o'xshashlik bor. Shuning uchun Bolsman statistikada molekulalar issiqlik harakati tartibsizlik darajasini tavsiflovchi funksiya sifatida entropiyaning olish tavsiya etilgan.

Bolsman entropiya  $S$  va termodinamik ehtimollik  $W$  ni quyidagi munosabat orqali bog'ladi:

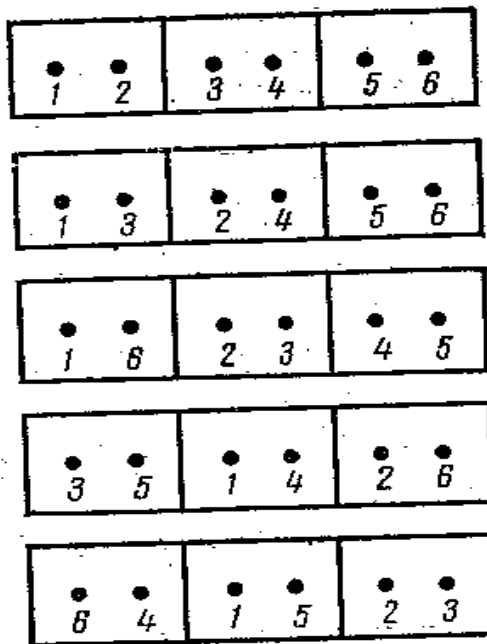
$$S = k \ln W + \text{const} \quad (1)$$

Demak, entropiya holat ehtimolligi logarifmga mutanosib ekan, bu yerda  $k$  – Bolsman doimiysi.

Buni quyidagi orqali tushuntiramiz: Bizga idish berilgan bo'lsin va u xayolan bir necha bo'lakchalarga ajratilgan bo'lsin. Idishda  $n$  ta zarracha bo'lib, xaotik harakatlanishi natijasida idish bo'lakchalariga u yoki bu tartib bilan joylashib, alohida makrotaqsimlanish hosil qiladi. Faraz qilaylik, idish 3 ta bo'lakchadan iborat bo'lib, unda 6 ta zarracha bo'lsin (6-rasm). Bu rasmda zarralarning bir nechta makrotaqsimlanish ko'rsatilgan.



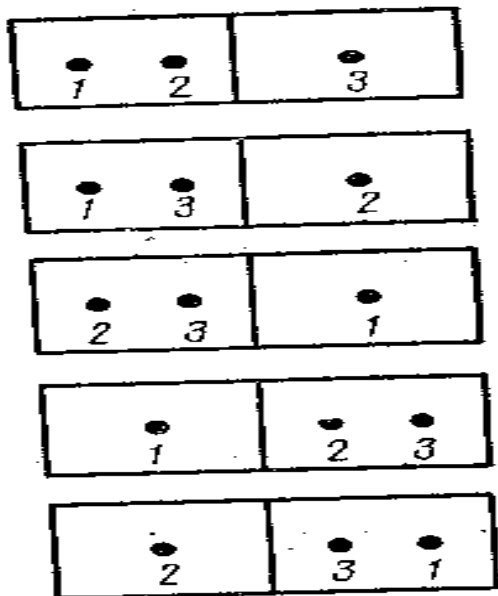
6-rasm.



7-rasm.

Agar oltita zarrani har birini raqamlab chiqsak, u holda har qanday makrotaqsimlanish, masalan, a taqsimlanish mikrotaqsimlanishning yonida bo'ladi. 7-rasmda a makrotaqsimlanishni berishi mumkin bo'lgan bir nechta mikrotaqsimlanishlar tasvirlangan. 7-rasmda tasvirlangan barcha mikrotaqsimlanishlar faqat bitta makrotaqsimlanish a ni beradi, chunki makrotaqsimlanish idish alohida bo'laklaridagi zarralar soni bilan aniqlanadi, zarra raqamlari bo'yicha emas. Olingan makroholatni, ya'ni uning termodinamik ehtimolligini beruvchi mikroholatlar sonini hisoblaymiz. Oldin, 6,7-rasmlarda tasvirlangan holatlardan osonroq holatlarni qaraymiz. Ikkita zarrachani olib, ularni idish ikki bo'lagiga bittadan joylashtiramiz. Bunday joylashtirish usuli faqat ikkita bo'ladi. Uchta zarrachani idishning ikki bo'lagiga olti xil usul bilan joylashtirish

mumkin (8-rasm). Xuddi shunday to'rtta zarrachani 24 xil usul bilan ( $24=4!$ ,  $6=3!$ ,  $2=2!$ ) va hokazo joylashtirish mumkin. 8-rasmdagi ikkita mikroholatlar bir xil ko'rinishda ekanligini e'tiborga olsak, u holda mikrotaqsimlanishlar sonini ikki martaga kamaytirish mumkin.



8-rasm.

Nazariy fizikada  $n$  ta holatdagi  $N$  ta zarrachalarning mikrotaqsimlanishlar sonini, ya'ni termodinamik ehtimollik quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$W_T = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_3!} \quad (2)$$

Bu yerda  $N_1$ - birinchi holatdagi (bo'lak) zarrachalar soni,  $N_2$ - ikkinchi holatdagi zarrachalar soni va hokazo.

(2) formulani idish ikki bo'lagida uchta zarracha bo'lishi holati uchun qo'llasak

$$W_T = \frac{3!}{2_1! 1_2!} = 3$$

To'rtta zarrachani olti usul bilan ikki bo'lakka ikkitadan qilib joylashtirish mumkin:

$$W_T = \frac{4!}{2_1! 2_2!} = 6$$

Xuddi shu to'rtta zarrachani to'rt usul bilan bir bo'lakka uchtdan joylashtirish mumkin:

$$W_T = \frac{4!}{3_1! 1_2!} = 4$$

6-rasmdagi makroholatlar uchun termodinamik holatlarni hisoblaymiz:



$$W_T = \frac{6!}{2_1!2_2!2!} = 90$$

$$W_T = \frac{6!}{3_1!2_2!1!} = 60$$

$$W_T = \frac{6!}{3_1!3_2!0!} = 20$$

$$W_T = \frac{6!}{4_1!2_2!0!} = 15$$

$$W_T = \frac{6!}{6_1!0_2!0!} = 1$$

Shunday qilib, **eng katta termodinamik ehtimollik tekis taqsimlanishda bo'lar ekan, bunda usullar soni ham eng ko'p bo'ladi.**

Isbotlashimiz mumkinki, ikkita holatning matematik ehtimollik nisbati, ularning termodinamik ehtimolliklari nisbatiga teng bo'ladi.

Entropiya va holat ehtimolligi o'rtasidagi bog'lanishdan termodinamikaning ikkinchi qonuni statistik tabiatga ega ekanligini ko'rsatish mumkin.

Bolsman formulasiga asosan bunday aytishimiz mumkin: **tabiatda bo'layotgan hamma jarayonlar shunday yo'nalganki, u holat ehtimolligining ortishiga olib keladi.**

Quyidagi misolda termodinamikaning ikkinchi qonuni statistik xarakterga ega ekanligini ko'ramiz:

Ikkita jism olamiz, birining harorati 301 K, ikkinchisidiki 300 K va birinchi jismga uzatiladigan issiqlik miqdori  $10^{-7}$  J ga teng bo'ladi. Bolsman formulasiga asoslanib, mana shu ikkita holatda bo'lgan jismlarning ehtimolliklar nisbatini jismlar entropiyasining o'zgarishini hisoblab topaylik.

Issiqlik miqdori issiq jismdan sovuqroq jismga o'tishini korib chiqaylik, keyin esa teskari yo'nalishda o'sha miqdordagi issiqlik sovuqroq jismdan issiqroq jismga o'tishini kuzataylik. Klauzius ta'rifiga binoan bu teskari jarayon umuman amalga oshmaydi, lekin statistik qonunlarga binoan bunday teskari jarayon ma'lum bir ehtimollikga ega. Jismning 300 K haroratda bo'lish ehtimolligini  $W_2$  bilan, 301 K haroratda bo'lish ehtimolligini  $W_1$  bilan belgilaymiz, unda

$$\Delta S = S_{A2} - S_{A1} = -\frac{Q}{T_A} + \frac{Q}{T_B} = \frac{Q(T_A - T_B)}{T_A T_B}$$

ga asosan entropiyaning o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{10^{-7}}{300} - \frac{10^{-7}}{301} = k \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (3)$$

bundan,

$$\frac{W_2}{W_1} = e^{\frac{\Delta S}{k}} = e^{\frac{10^{-7}}{9 \cdot 10^{-4} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}} \approx e^{\frac{10^{12}}{12}} \quad (4)$$

(4) ga asosan aytishimiz mumkinki, ya'ni 301 K haroratli jismdan 300 K haroratli jismga  $10^{-7}$  J issiqlik miqdori  $e^{\frac{10^{12}}{12}}$  marta tasodifan o'tishiga, 300 K haroratli 301 K haroratli jismga bir marta tasodifan issiqlik o'tishi to'g'ri kelar ekan. Sovuq jismdan issiq jismga issiqlik miqdori o'tishi bu  $e^{\frac{10^{12}}{12}}$  martaga nisbatan, juda ehtimolligi kam, demak, bu teskari jarayonni umuman kuzata olmaymiz.

Agar ikkita jismning yuqoridagi kuzatilayotgan harakatlarda bir-biriga uzatilayotgan issiqlik miqdori  $12 \cdot 10^{-19}$  J ga teng bo'lsa, unda boshqa natija hosil bo'ladi ya'ni,

$$\frac{W_2}{W_1} = e^{\frac{\Delta S}{k}} = e^{\frac{12 \cdot 10^{-19}}{9 \cdot 10^{-4} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}} = e = 2,7 \quad (5)$$

Bunga asosan, issiq jismdan sovuq jismga issiqlik miqdori 2,7 marta tasodifan o'tishiga bir marta teskari jarayon ham to'g'ri kelar ekan. Ammo shunday kichik miqdordagi issiqlikka ( $12 \cdot 10^{-19}$ J) nisbatan termodinamikaning ikkinchi qonunini qo'llab bo'lmaydi.

Haqiqatda  $12 \cdot 10^{-19}$  J energiyaga ayrim molekulalar 1000 daraja haroratda ega bo'ladi.

Shunday qilib, ayrim yoki guruh molekulalarga nisbatan termodinamik va statistik usullarni qo'llab bo'lmas ekan.

Yuqorida aytilganlarga asosan quyidagi xulosaga kelishimiz mumkin:

***Termodinamikaning ikkinchi qonuni statistik qonundir. Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq nisbatan tor ma'noga ega, chunki termodinamikaning birinchi qonuni issiqlik miqdori va ishni alohida ko'rib chiqadi, buni esa alohida molekulalarga nisbatan qo'llab bo'lmaydi. Energiyaning saqlanish qonunini har qanday joyda (molekula, mikrojarayonga, mikrojisimga nisbatan) qo'llasa bo'ladi.***

Alohida molekulaga nisbatan  $dQ=dU+dA$  ni yozib bo'lmaydi, chunki u fizik ma'noga ega emas. Lekin energiyaning saqlanish qonunini ayrim molekulaga va boshqa mikrohodisalarga nisbatan qo'llasa bo'ladi.

Demak, termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari statistik xarakterga ega va bu qonunlarni elementar aktlarga nisbatan qo'llab bo'lmaydi.

## ***Koinotning “issiqlik o’limi” haqidagi idealistik xulosaning tanqidi***

Yer sharoitida sistemada bo’layotgan real qaytmas makroskopik jarayonlar sistema entropiyasining o’sishiga olib keladi:

$$\sum_i \Delta S_i > 0 \quad (1)$$

Bunga asoslanib Klauzius termodinamikaning ikkinchi qonuniga quyidagicha ta’rif beradi: ***“Koinotning entropiyasi maksimumga intiladi”***. Klauzius ta’rifidan foydalanib, ko’pchilik fiziklar va faylasuf idelistlar va jumladan Klauziusning o’zi ham “Koinotning issiqlik o’limi” bo’ladi, degan xulosaga kelgan. Tabiatdagi real qaytmas jarayonlar energiya sochilishiga har xil tur energiya sathlari farqi tenglashishga va har qanday gradientlarning kamayishiga olib keladi. Bu jarayonlarning pirovard natijasida harorat hamma joyda bir xil bo’lib qoladi. Klauzius, shunday holatda koinotning issiqlik o’limi ro’y beradi, deydi.

Oldingi mavzularda termodinamika qonunlarini mikrojarayonga qo’llab bo’lmashini ko’rgan edik, shuning uchun Yer sharoitida bo’layotgan mikrojarayonlarga nisbatan to’g’ri bo’lgan termodinamika qonunlarini butun koinotga nisbatan qo’llanilishini asoslanmagan. Koinotda hodislar boshqacha tavsifga ega. Haqiqatda astrofizikaning tajriba natijalari shuni ko’rsatadiki, ko’p jarayonlar Yer sharoitida uchrayotgan shunga o’xshash jaryonlardan juda farq qilar ekan. Masalan, astrofiziklarning kuzatish natijalariga asosan Koinotda tumanliklarda sochilgan materiyadan yulduzlarning hosil bo’lish jarayonlari energiya to’planishini tasdiqlaydi. Demak, entropiya tushunchasini butun Koinotga nisbatan qo’llab bo’lmaydi.

Bolsman o’zining davrida “Koinotning issiqlik o’limi” degan xulosaga fluktuatsion gipotezasi bilan qarshi chiqqan. Fluktiatsion gipotezasiga asosan, Koinotning ayrim joylarida katta miqdorda energiya to’planadi. Bu energiya fluktiatsiyalari energiyaning sochilish jarayoniga qarama-qarshi jarayonidir. Bu esa muvozanatning buzilishiga olib keladi va muvozanatli holatga olib kelmaydi.

Klauzius va boshqa fiziklarning bu masala bo’yicha chiqargan xulosalarini F.Engels tahlil qilib quyidagilarni aytgan: “Million yillardan keyin Quyosh energiyasining kamayishi natijasida Yer sharida organik hayot yo’qolishi mumkin, Yer xuddi Oy kabi so’nib qolgan sharga aylanadi va ma’lum vaqtdan keyin uning sirtiga tushadi. Bunday hodisa, masalan, Quyosh sistemasida bo’lsa, ma’lum uzoq vaqtdan keyin boshqa sistemalarda bo’lishi mumkin.

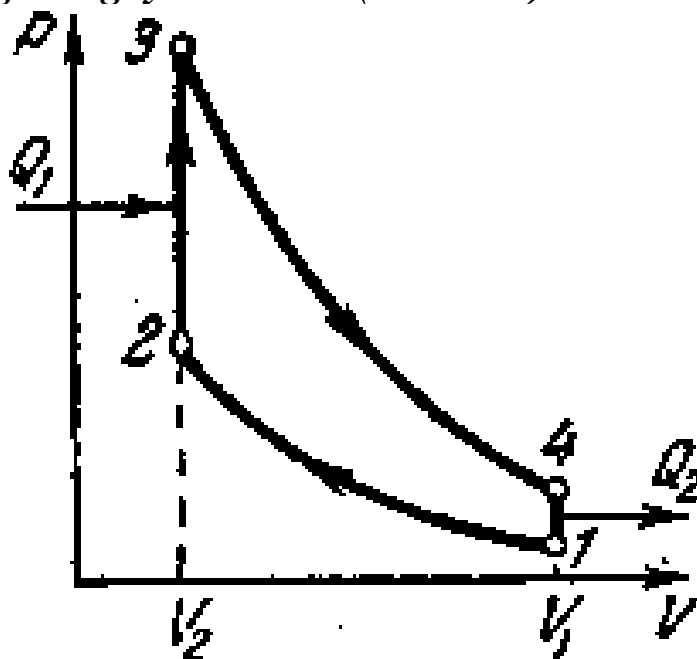
Hozir aniqlanganki, Quyosh 10 milliard yillar davomida yetarli energiya nurlantiradi. Lekin sochilgan energiya va materiya qandaydir yo'l bilan yangidan quyuglanishi zarur va yangi sistema hosil bo'lishiga yo'l ochib berishi kerak. Energiya va materiya qanday yo'l bilan boshqatdan quyuglanishini bilish bu tabiat fanlarining kelajakdagi masalasidir.

Shunday qilib, Engels "Koinotning issiqlik o'limi" muammosining yechimini aniq ko'rsatdi. Ya'ni energiya faqat sochilmaydi balki quyuglanishi ham bo'ladi.

Koinot umuman qotib qolgan emas, balki doimiy rivojlanishda. Koinotdagi yulduzlarning umri tugab so'nadi, boshqalari paydo bo'ladi. Koinotda materiya miqdori o'zgarmas. Materiya yo'qolmaydi va hosil bo'lmaydi, lekin materiya abadiy aylanishda va rivojlanishda, shuning uchun ham ma'lum bir yashash aylanish jarayoniga ega bo'lgan Quyosh sistemalari hosil bo'ladi. Bunday sistemalar ma'lum uzoq vaqt yashaydi, rivojlanadi, keyin umri tugaydi, o'ladi, bu jarayonlar abadiy yana takrorlanadi.

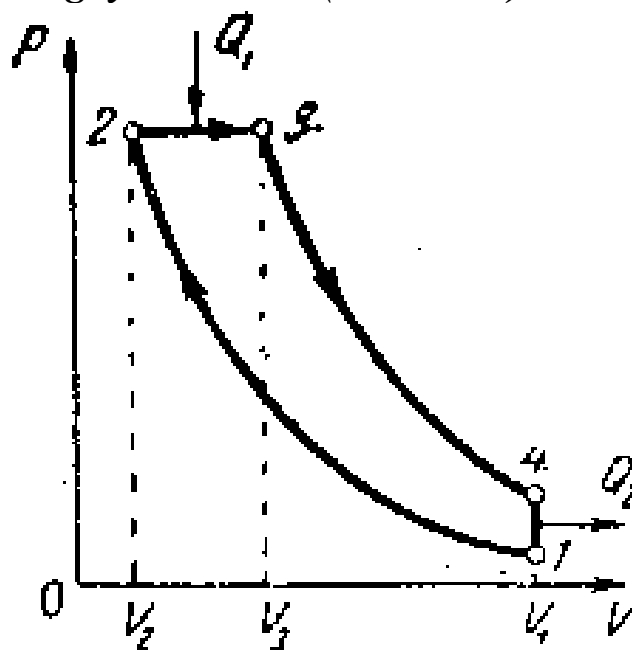
### *Issiqlik dvigatellarining nazariy sikllari (mavzuga ilova)*

#### *1. $V=Const$ bo'lgandagi yonish sikli (Otto sikli).*



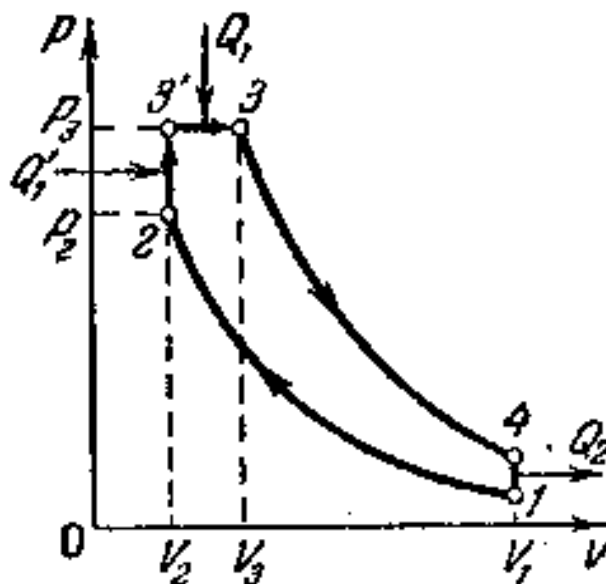
- 1-2-adiabatik siqilish,
- 2-3-izoxorik isish,
- 3-4-adiabatik kengayish,
- 4-1-izoxorik sovish.

2.  $P=Const$  bo'lgandagi yonish sikli (Dizel sikli).



- 1-2-adiabatik siqilish,
- 2-3-izobar isish,
- 3-4-adiabatik kengayish,
- 4-1-izoxorik sovish.

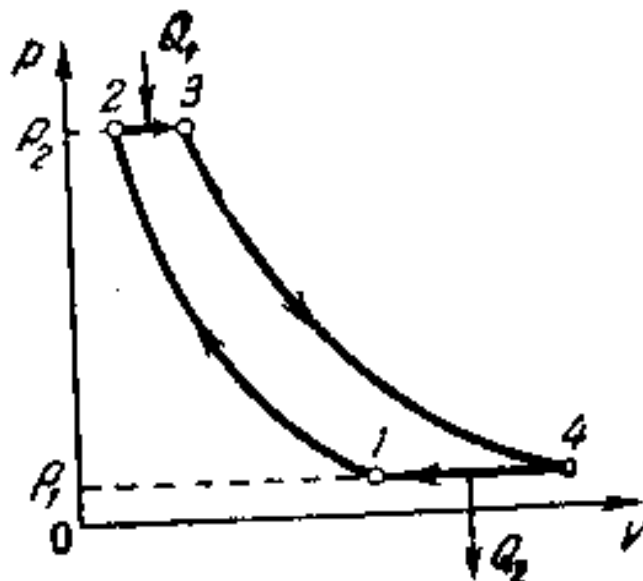
3.  $V=Const$  va  $P=Const$  bo'lgandagi yonishning aralash sikli (Trinkler-Sabate sikli).



- 1-2-adiabatik siqilish,
- 2-3'-izoxorik isish,
- 3'-3-izobarik isish,
- 3-4-adiabatik kengayish,
- 4-1-izoxorik sovish.

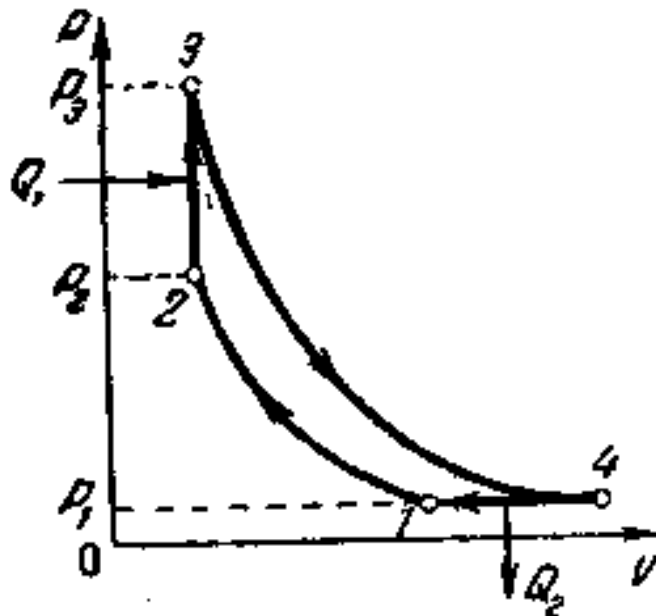
*Gaz turbinalaridagi nazariy sikllari  
(mavzuga ilova)*

*1.  $P=Const$  bo'lgandagi yonish sikli.*



- 1-2-adiabatik siqilish,
- 2-3-izobar isish,
- 3-4-adiabatik kengayish,
- 4-1-izobarik sovish.

*2.  $V=Const$  bo'lgandagi yonish sikli.*



- 1-2-adiabatik siqilish,
- 2-3-izoxorik isish,
- 3-4-adiabatik kengayish,
- 4-1-izobarik sovish.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

Ichki yonuv dvigatelining foydali ish koeffitsiyenti 28%, yoqilg'i yonish issiqligi 927°S va chiqayotgan gazlar harotati esa 447°S. ideal machining foydali ish koeffitsiyenti dvigatel foydali ish koeffitsiyentidan necha foizga ko'p?

#### Berilgan:

$$T_1=1200 \text{ K}$$

$$T_2=720 \text{ K}$$

$$\eta=28\%$$

$$\eta_k=?$$

$$\eta_k-\eta=?$$

#### Masalaning yechilishi:

Karno sikli bo'yicha ishlayotgan ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali topiladi:

$$\eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Hisoblaymiz:

$$\eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1200 - 720}{1200} \cdot 100 \% = 40 \%$$

$$\eta_k - \eta = (40 - 28)\% = 12\%$$

### 2-masala

Karno ideal sikli bo'yicha ishlayotgan issiqlik mashinasining isitkichi  $2 \cdot 10^3$  kall issiqlik olayapti va uning 80% ini sovutkichga berayapti. Mashinaning sikl foydali ish koeffitsiyenti va ishini toping.

#### Berilgan:

$$Q_1=2 \cdot 10^3 \text{ kall}$$

$$Q_2=0,8Q_1$$

$$\eta=?$$

$$A=?$$

#### Masalaning yechilishi

Siklning foydali ish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 \% = \frac{Q_1 - 0,8Q_1}{Q_1} \cdot 100 \%$$

yoki

$$\eta = (1 - 0,8) \cdot 100 \%$$

Hisoblaymiz:

$$\eta = (1 - 0,8) \cdot 100 \% = 20 \%$$

$$A = Q_1 - Q_2 = Q_1 \cdot \eta = 0,2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 400 \text{ kall yoki } 400 \cdot 4,18 = 1670 \text{ J}$$

### 3-masala

Issiqlik mashinasi sovitkichining harorati  $27^\circ\text{S}$ , isitkichning temperaturasi  $107^\circ\text{S}$ . Agar ishchi modda  $800 \text{ J}$  foydali ish bajargan bo'lsa, isitkich qancha issiqlik miqdori uzatgan?

**Berilgan:**

$$t_1^\circ = 27^\circ\text{C}; T_1 = 300 \text{ K}$$

$$t_2^\circ = 107^\circ\text{C}; T_2 = 380 \text{ K}$$

$$A_f = 800 \text{ J}$$

$$Q_1 - ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti (FIK) formulalari

$$\eta = \frac{A_f}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Bu formulalarni o'zaro tenglashtirib  $Q_1$  ni aniqlaymiz:

$$Q_1 = \frac{A_f \cdot T_1}{T_1 - T_2}$$

Hisoblash:

$$Q_1 = \frac{2400 \cdot 380}{380 - 300} = \frac{8000 \cdot 380}{80} = 3800 \text{ J}$$

### 4-masala

Uzunligi  $2 \text{ m}$ , kesim yuzi  $1 \text{ mm}^2$  bo'lgan simga  $6 \text{ kg}$  massali yuk osilganda, u  $1,5 \text{ mm}$  ga uzaygan. Sim uchun Yung modulini aniqlang.

**Berilgan:**

$$l_0 = 2 \text{ m}$$

$$S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$m = 6 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$E - ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Mexanik kuchlanish formulasi



$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} \quad (1)$$

va Guk qonuni  $\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l_0} E$  (2). Bu formulalarni o'zaro tenglashtirib  $E$  ni aniqlaymiz:

$$\frac{mg}{S} = \frac{\Delta l}{l_0} E$$

$$E = \frac{mgl_0}{S\Delta l} \quad (3)$$

Hisoblash:

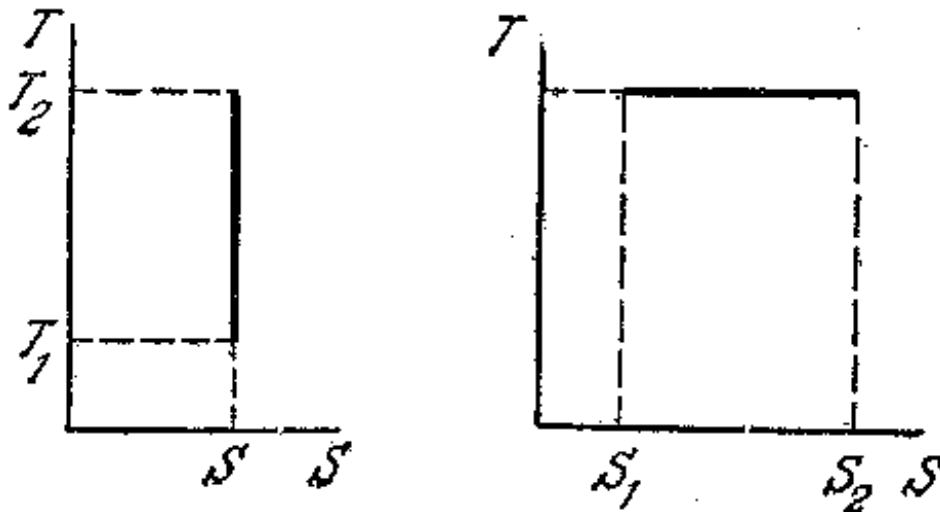
$$E = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10}{10 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} 8 \cdot 10^{10} \text{ Pa} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

### 5-masala

Adiabatik va izotermik jarayonlar uchun haroratning entropiyaga bog'liqlik (T-S) diagrammasini chizing.

**Masalaning yechilishi:**

$Q=const$  va  $T=const$  holatda haroratning entropiyaga bog'liqlik grafigini chizamiz:

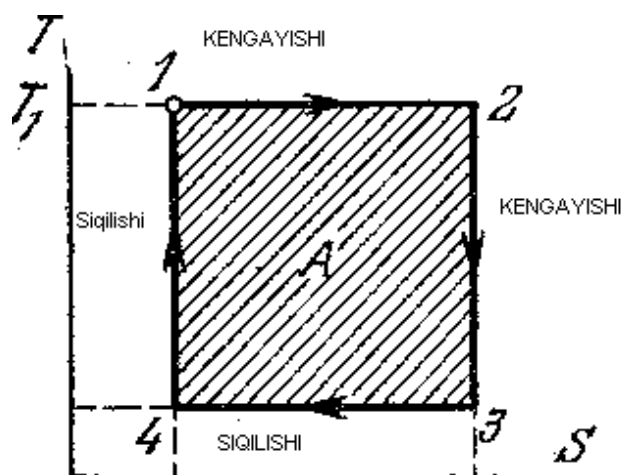


### 6-masala

T-S koordinatada Karno siklini chizing va uning foydali ish koeffitsiyentini toping.

**Masalaning yechilishi:**

Harorat va entropiyaning o'zgarishida Karno sikli grafigini chizamiz:



Endi Karno siklining foydali ish koeffitsiyentini topamiz:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

## IV. BO'LIM

### GAZLARDA KO'CHIRILISH HODISASI

#### Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi

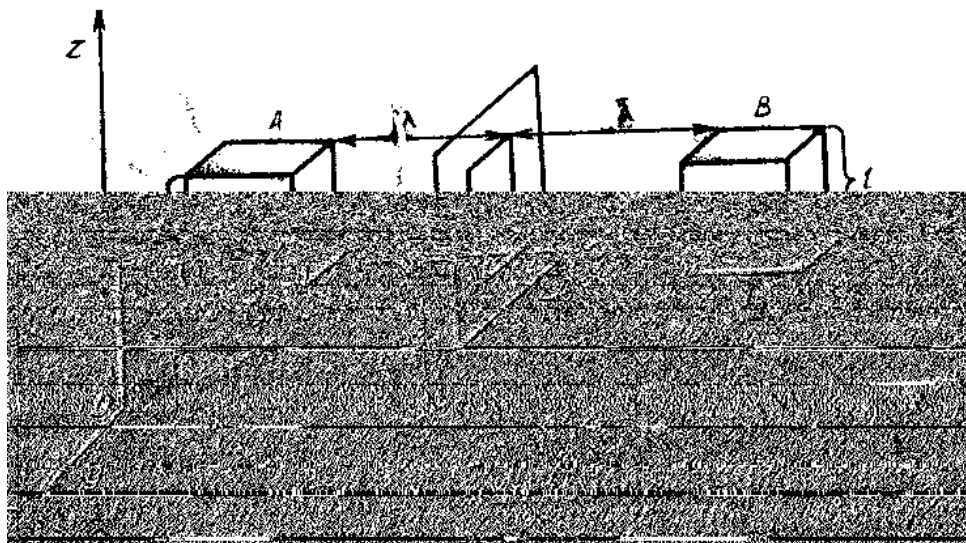
Ma'lumki, gaz molekullari bir-birilaridan kinetik energiyalari bilan farq qiladi. Demak, gazlar bir-biridan o'zlarining harorati bilan farq qiladi. Molekulalar issiqlik qatlamidan sovuq qatlamga va aksincha o'tishi bilan issiq qatlamdan sovuq qatlamga energiya tashib gazning egallagan hajmi bo'yicha haroratning bir xil bo'lishiga yaqinlashtiradi. Bu hodisa **issiqlik uzatish** deyiladi.

Furye issiqlik uzatish hodisasini o'rganib,  $\Delta S$  yuzadan unga tik ravishda  $dt$  vaqtida olib o'tilgan issiqlik miqdori  $\Delta Q$  ni empirik ravishda quyidagicha ifodalaydi:

$$\Delta Q = -\chi \left( \frac{dT}{dx} \right) \Delta S dt \quad (1)$$

$\left( \frac{dT}{dx} \right)$  harorat gradiyenti,  $\chi$  – proporsionallik koeffitsiyenti, **ichki issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti** bo'lib, vaqt birligida yuza birligiga tik ravishda harorat gradiyenti birga teng bo'lgandagi issiqlik miqdoriga miqdor jihatidan teng bo'lgan kattalikdir. Uning birligi  $J/(m \cdot s \cdot K)$ .

Issiqlik uzatish hodisasini molekulyar-kinetik nazariya asosida qarab chiqaylik. Buning uchun ikkita A va B kubda olingan  $T_1$  va  $T_2$  haroratli gazlar X o'qi bo'yicha o'rtacha arifmetik tezlik  $v$  bilan harakatlanayotgan molekullar yo'lga tik qo'yilgan  $\Delta S$  yuzadan o'rtacha yugurish yo'li  $\lambda$  ga teng uzoqlikda joylashgan (1-rasm).



1-rasm.

Demak, yo'lda  $\Delta S$  yuzadan o'tguncha boshqa molekulalar bilan to'qnashmaydi. U vaqtda birinchi idishdan dt vaqtda  $\Delta S$  yuzadan o'tuvchi molekulalar soni

$$N_1 = \frac{1}{6} n_1 v_1 \Delta S dt$$

Ikkinchi idishdan X yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda o'tuvchi molekulalar soni

$$N_2 = \frac{1}{6} n_2 v_2 \Delta S dt$$

bo'ladi.

Molekulalarning umumiy holda kinetik energiyasi  $\epsilon = \frac{i}{2} kT$  (bunda  $i$  – erkinlik darajasi,  $k$ -Bolsman doimiysi) bo'lib, molekulalar to'qnashmaganligi uchun hamma energiyasini  $\Delta S$  yuzadan olib o'tadi. U vaqtda mos ravishda molekulalarning X o'qining musbat va manfiy yo'nalishi bo'yicha olib o'tgan issiqlik miqdorlari:

$$\Delta Q_1 = \frac{1}{6} n_1 v_1 \Delta S dt \cdot \frac{i}{2} kT$$

va

$$\Delta Q_2 = \frac{1}{6} n_2 v_2 \Delta S dt \cdot \frac{i}{2} kT$$

$\Delta S$  yuzadan dt vaqtda umumiy o'tayotgan issiqlik miqdori:

$$\Delta Q = \Delta Q_2 - \Delta Q_1 = \frac{1}{6} \cdot \frac{i}{2} k (n_2 v_2 T_2 - n_1 v_1 T_1) \Delta S dt \quad (2)$$

Haroratlar bir-biri bilan katta farq qilmaganda  $n_1 v_1 T_1 = n_2 v_2 T_2 = n v$  bo'ladi. Chunki bu ko'paytma  $\sqrt{T}$  ga to'g'ri mutanosibdir. ekanligini e'tiborga olsak (2) quyidagi ko'rinishni egallaydi:

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} n v k \frac{i}{2} k \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \Delta S dt \quad (2a)$$

bu ifodadagi  $n \frac{i}{2} k = n \frac{i}{2} \frac{R}{N_A}$  ifodani molekula massasiga ko'paytirib, bo'lamiz:

$$m n \frac{i R}{2 N_A m} = \rho \frac{i R}{2 \mu}$$

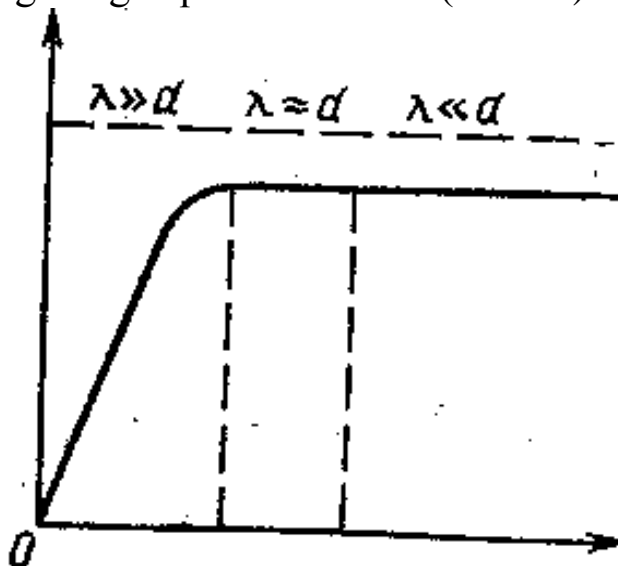
Bundagi  $\frac{i}{2} R = C_{\mu v}$  hajm doimiy bo'lgandagi gazning molyar issiqlik sig'imi,  $\frac{i}{2 \mu} R = C_v$  esa hajm doimiy bo'lgandagi gazning solishtirma issiqlik sig'imi. Bularni e'tiborga olsak (2a) quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta Q = -\frac{1}{3} \rho v \lambda C_v \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \Delta S dt \quad (3)$$

(3) bilan (1) ni taqqoslash orqali issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining ifodasini topamiz:

$$\chi = \frac{1}{3} \rho v \lambda C_v \quad (4)$$

Bundan ko'rinadiki, **issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti** hajm doimiy bo'lgandagi solishtirma issiqlik sig'imiga, gazning zichligiga, o'rtacha arifmetik tezligiga hamda o'rtacha erkin yugurish yo'liga bog'liqdir. Bu ko'paytmalardan ko'rinadiki, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bosimga bog'liq bo'lmas ekan (2-rasm).



2-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va bosim orasidagi bog'lanish.

Juda past bosim, ya'ni yuqori vakuumda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bosimga bog'liq bo'ladi. Chunki bu vaqtda molekularning yo'nalishi o'rtacha erkin yugurish yo'li u harakat qilayotgan idishning chiziqli o'lchamidan juda katta bo'lib, harakat yo'lida boshqa molekular bilan toq'nashmaydi.  $\eta = \frac{1}{3} \rho v \lambda$  ni e'tiborga olsak (4) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\chi = \eta C_v \quad (5)$$

Demak, **issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ichki ishqalanish koeffitsiyentidan** hajm doimiy bo'lgandagi solishtrima issiqlik sig'imi marta katta bo'lar ekan.

$\eta = D \rho$  ni e'tiborga olsak, (5) quyidagicha ifodalaniladi:

$$\chi = D \rho C_v \quad (6)$$

ya'ni **issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti diffuziya koeffitsiyentidan** gaz zichligini hajm doimiy bo'lgandagi solishirma issiqlik sig'imiga ko'paytmasi marta katta bo'lar ekan.

Ko'chirilish hodisalarining hammasida mavjud bo'lgan minus ishorasi fizik kattalikning gradienti har doim fizik kattalikning kamayishi tomon yo'nalgan bo'lishligini ko'rsatadi.

Ko'chirilish hodisalarini ifodalovchi barcha koeffitsiyentlarda molekulaning o'rtacha erkin yugurish yo'l uzunligi ishtirok etadi. Demak, bu koeffitsiyentlarning birortasi berilsa, undan molekulaning o'rtacha erkin yugurish yo'lini va uni bilgan holda molekulalarning effektiv diametrlarini hisoblashimiz mumkin.

### ***Gazlarda ichki ishqalanish (qovushqoqlik)***

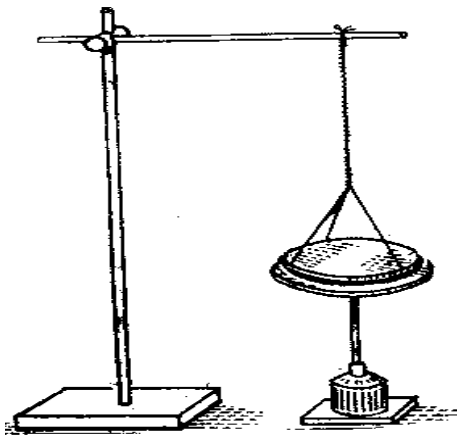
Gaz qatlamlari bir-birga nisbatan turli tezlik bilan harakatlanganda qatlamdan-qatlama ma'lum miqdorda gaz molekulalari o'tadi. Bunda tezligi katta qatlamdan tezligi kichik qatlama gaz molekulalari impuls olib o'tadi. Bu vaqtda tezligi kichik qatlamning harakati tezlashadi va aksinchatezligi katta qatlam sekinlashadi. Natijada qatlamlar tezligi bir-biriga yaqinlashish jarayoni ro'y beradi. Bunga ***ichki ishqalanish*** deyiladi.

Suyuqlik yoki gazlardagi ichki ishqalanish kuchi mexanikadan ma'lum bo'lgan Nyuton formulasi orqali ifodalaniladi:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S \quad (7)$$

$\frac{dv}{dx}$  - tezlik gradienti,  $\eta$  – yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish koeffitsiyenti bo'lib, u tezlik gradienti birga teng bo'lganda birlik yuzga ta'sir etganda ichki ishqalanish kuchiga son jihatdan teng bo'lgan kattalikdir. Uning birligi Pa·s (Puaz).

Gazlarda ichki ishqalanishning sodir bo'lishini quyidagi tajriba yordamida kuzatamiz. M elektrodvigatel o'qiga (3-rasm) gorizontol ravishda A disk o'rnatilgan bo'lib, u elektrodvigatel yordamida aylanma harakatga keltiriladi.



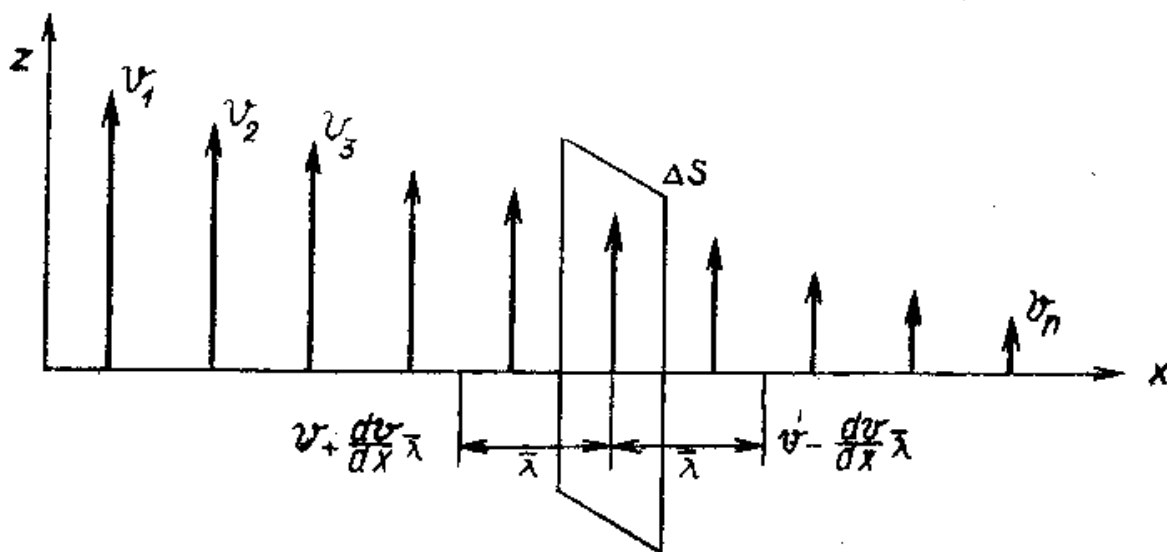
3-rasm. Gazlarda ichki ishqalanishni kuzatish.

A diskka parallel ravishda ma'lum masofada ipga bog'langan B disk osib qo'yilgan. A disk harakatga kelgandan so'ng B disk ham A disk harakati yo'nalishida aylanma harakatga keladi. Chunki A disk aylanganda o'ziga yaqin bo'lgan havo qatlamini ham o'zi bilan ilashtirib uni harakatga keltiradi. Shu tarzda harakatlar gaz qatlamlari orqali uzatilishi natijasida B diskka ham yetib borib, u ham aylanma harakatga keladi. Bu harakat gazda ichki ishqalanishning mavjudligi tufayli sodir bo'ladi.

Ichki ishqalanish kuchini molekulyar kinetik nazariya asosida keltirib chiqaramiz.

Ma'lumki, molekular tartibsiz issiqlik harakatida bo'lgani uchun har bir o'q yo'nalishi bo'yicha molekular umumiy sonining uchdan bir qismi harakatlanadi. Bularning yarmi o'qning musbat va yarmi manfiy yo'nalish bo'yicha harakatlanadi. Demak, kuzatilayotgan o'qning masalan, musbat yo'nalishi bo'yicha molekularning oltidan bir qismi harakatlanadi.

X o'qiga perpendikulyar olingan  $\Delta S$  yuza orqali undan o'rtacha erkin yugurish yo'l uzunligicha oraliqda turgan molekular  $dt$  vaqtda o'rtacha arifmetik tezlik bilan harakatlanib o'tishi mumkin deb faraz etamiz (4-rasm).



4-rasm.

U vaqtda  $\Delta S$  yuzadan  $dt$  vaqtda o'qning musbat yo'nalishi bo'yicha o'tgan molekularning olib o'tgan impulsi:

$$K_1 = \frac{1}{6} n v m \left( v + \frac{dv}{dx} \lambda \right) \Delta S dt$$

O'qning manfiy yo'nalishi bo'yicha olib o'tilgan impuls esa

$$K_2 = \frac{1}{6} n v m \left( v - \frac{dv}{dx} \lambda \right) \Delta S dt$$

bo'ladi. Impulsning to'la o'zgarishi gazlarning bir qatlamdan ikkinchi qatlamga uzatilgan kuch impulsini ifodalaydi:

$$F dt = K_2 - K_1 = -\frac{1}{6} n v m 2 \frac{dv}{dx} \lambda \Delta S dt = -\frac{1}{3} n m v \lambda \left( \frac{dv}{dx} \right) \Delta S dt \quad (8)$$

(8) ni ikki tomonini dt ga bo'lib yuborib  $\rho = nm$  formulani e'tiborga olsak, (8) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$F = -\frac{1}{3} \rho v \lambda \left( \frac{dv}{dx} \right) \Delta S dt \quad (9)$$

Bu ifodani Nyuton formulasi (7) bilan taqqoslasak, ichki ishqalanish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalaniladi:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v \lambda \quad (10)$$

Bu ifodaga  $\lambda = \frac{l}{z}$  formuladagi o'rtacha erkin yugurish yo'lining ifodasi qo'yilsa,

$$\eta = \frac{m v}{3 \sqrt{2} \pi \sigma^2} \quad (11)$$

hosil bo'ladi. Bundan ko'rinadiki **ichki ishqalanish koeffitsiyenti gaz molekulalarining quyuqligiga bog'liq bo'lmas ekan**. Demak, u bosim va zichlikka ham bog'liq emas.

Juda siyraklashtirilgan gazlar uchun bu mulohaza o'rinsiz. Chunki bu holda molekulalarning erkin yugurish yo'li gaz solingan idishning chiziqli o'lchamidan katta bo'lib, (11) formulani tatbiq qilib bo'lmaydi.

Agar Maksvellning tezliklari taqsimoti qonunini e'tiborga olsak, (9), (10) va (11) formulalardagi uchdan bir koeffitsiyent o'rnida 0,31 koeffitsiyent o'rinli bo'ladi.  $D = \frac{1}{3} \lambda v$  ni e'tiborga olsak, (10) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\eta = D \rho \quad (12)$$

Demak, **ichki ishqalanish koeffitsiyenti diffuziya koeffitsiyentidan gazning zichligi marta katta** bo'lar ekan.

### **Gazlarda diffuziya**

Jo'mrakli trubka bilan birlashtirilgan ikkita idishni qarab chiqamiz. Birinchi idishda A gaz, ikkinchi idishda B gaz bo'lsin va ular o'zaro ta'sirlashmasin. Molekula massalarini xuddi molekulalar diametrlari kabi bir-biriga yaqin deb olamiz. A va b gazlar unga yengil bo'lmagan gazning izotoplari ham bo'lishi mumkin shuning uchun ular molekulalari atom massalari biroz farq qilsada diametric bir xil bo'ladi. A va B molekulalarda



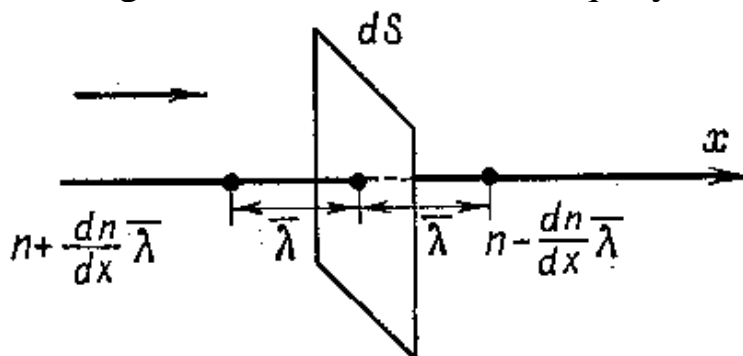
massalari bir xil bo'lgan gazlar ham bo'lishi (masalan CO va N<sub>2</sub> yoki CO<sub>2</sub> va N<sub>2</sub>O) mumkin.

Xuddi shunday qaysidir xossalari bilan farqlanuvchi bir xil molekulalar o'zaro diffuziyani ham qarash mumkin. Masalan bir gaz molekulasi tabiiy radioaktiv bo'lsin. U holda masalan, birinchi gaz radioaktivi molekulalari ikkinchi radioaktiv bo'lmagan gaz molekulalari bilan bo'ladigan diffuziyani taqozo etadi va diffuziya tufayli radioaktiv bo'lmagan gaz hajmi radioaktiv gaz molekulalari bilan to'ladi. Agar kran ochilsa A gaz molekulalari trubka orqali B gaz egallagan idishga o'tadi. Va aksinba.

Agar gazli idishlarni birlashtiruvchi trubka o'qiga X o'qni yo'naltirsak u holda biz bir o'lchamli massani qarashimiz mumkin. Juda kichik bosimlarda molekulalar juda kam to'qnashadi. Molekulaning erkin yugurish yoli katta va gazlarning diffuziyalanishi sekin kechadi. A gaz molekulalarining x o'qi bo'yicha tarqalishini qarab chiqamiz. Idishlardagi gaz aralashmasi bosimlari doimiy saqlanadi. X o'qi bo'yicha A gaz molekulalari konsentratsiyasi o'zgaradi. A gaz molekulalari konsentratsiyalari chapdan o'ngga kamayib B gaz molekulalari konsentratsiya tenglasadi. Diffuziya jarayonining oxirgi natijasi bu gazlar egallagan butun hajm bo'yicha har ikkala gaz molekulalari konsentratsiyasining tengligidir. Bunday jarayonga *nostatsionar diffuziya* deb aytiladi.

Agar fazoning diffuziya boshlagan ob'yekti tashqi molekulalar bilan doimiy to'ldirib borilsa, *diffuziya statsionar* bo'ladi.

Vaqtning dt momentida dS yuzaga trubka kesimidan o'tib aralashayotgan gaz masasini topamiz. Molekulalarning tartibsiz issiqlik harakati tufayli A gazning diffuziyalanush jarayoni X o'qi bo'lab chapdan o'ngga va o'ndan chapga tomon kuzatiladi (68-p\*) lekin o'q boyicha A gaz konsentratsoaysi har xil bo'lgani uchun bu yo'nalishda aralashayotgan molekulalar soni har xil bo'ladi. Bu hol B gaz uchun ham o'rinlidir. Quyida biz faqat bitta gaz molekulalari harakatini qaraymiz.



68-rasm. Gazlarda o'zaro diffuziya

Molekulalar xaotik (tartibsiz) harakatlanishi uchun ularning uchdan bir qismi X o'qi bo'yicha harakatlanadi. Ya'ni yarmi chapdan o'ngga yarmi o'ngdan chapga tomon. U holda dt vaqt ichida dS yuza orqali chapdan o'ngga uchib o'tgan molekulalar soni quyidagiga teng.

$$N_1 = \frac{1}{6} U \left( n + \frac{dn}{dx} \lambda \right) dS dt \quad (1)$$

bu yerda n – birlik hajmidagi gaz molekulalari soni,  $\frac{dn}{dx}$  o'q bo'yicha gaz molekulalari konsentratsiyasi gradiyenti.

Xuddi shu vaqtda gazning o'ngdan chapga uchib o'tgan molekulalari soni quyidagiga teng:

$$N_2 = \frac{1}{6} U \left( n + \frac{dn}{dx} \lambda \right) dS dt \quad (2)$$

(1) va (2) ifodalar farqini bitta molekula massa m ga ko'paytirib dt vaqt ichida dS yuza orqali diffuziyalangan gazning massasi dM ni topamiz.

$$dM = \frac{1}{3} m U \lambda \frac{dn}{dx} dS dt \quad (3)$$

Gaz konsentratsiyasini c orqali ifodalasak u holda c=mn bo'ladi va (3) ni quyidagicha yozamiz:

$$dM = \frac{1}{3} U \lambda \frac{dn}{dx} dS dt \quad (4)$$

Bu ifoda Fika topgan eksperimental **diffuziya qonuni** (Fikaning birinchi qonuni bilan) mos tushadi:

$$\Delta M = D \frac{dc}{dx} \Delta S \Delta t \quad (5)$$

(4) va (5) ifodalarni qo'yib gazning boshqa diffuziya koeffitsiyenti qiymatini topamiz:

$$D = \frac{1}{3} U \lambda \quad (6)$$

Bu juda muhim munosabat diffuziya koeffitsiyentini tajriba yo'li bilan ham aniqlash mumkin. D ni bilgan holda hisoblangan yoki o'lchagan U tezlik orqali molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li topish mumkin. (5) tenglamani chiqarganda konsentratsiyalar farqi o'zgarmas deb qaragan edik. Agar tashqi molekulalar manbai yordamida konsentratsiya farqi ushlab turilsa u holda diffuziya nostatsionar molekulalari o'zaro diffuziyalanayotgan gaz massalari har xil bo'lsa u holda fizika qonuni murakkab ko'rinish oladi, lekin hodisaning umumiy tavsifi o'zgarmaydi.

Nostatsionar diffuziya jarayonini qaraymiz. Uzunligi e va S bo'lgan trubka orqali birlashtrilgan V<sub>1</sub> va V<sub>2</sub> hajmli idishlar bo'lsin. Har ikki

idishda konsentratsiyalari har xil bo'lgan A va b gaz aralashmasi bo'lsin.  
Konsentratsiyalar farqi

$$\Delta c = c_2 - c_1 = m(n_2 - n_1)$$

Diffuziya natijasida gazlar konsentratsiyasi sekin tenglashadi.  
Konsentratsiyaning kichik qiymatlari uchun (5) dan quyidagini olamiz.

$$\Delta M = -D \frac{dc}{dx} \Delta S \Delta t = -D \frac{\Delta c}{l} \Delta S \Delta t \quad (7)$$

Minus ishora molekullarning konsentratsiya kam tomondan o'tishni bildiradi

(7) ifodani bitta molekula massasi  $m$  ga bo'lib cheksiz kichik  $dt$  vaqt ichida  $dS$  kesim yuza orqali o'tgan molekullar sonini topamiz.

$$dN = -D \frac{\Delta n}{l} \Delta S dt \quad (8)$$

Birinchi idishga molekullar zichligining kamayishi -  $dn_1 = -\frac{dN}{V_1}$

Ikkinchi idishda molekullar zichligining ortishi -  $dn_2 = \frac{dN}{V_2}$

Bundan har ikkala idishdagi molekullar zichligi  $dt$  vaqtdan keyin quyidagicha bo'ladi:

$$n_1' = n_1 + dn_1 = n_1 - \frac{dN}{V_1};$$

$$n_2' = n_2 + dn_2 = n_2 + \frac{dN}{V_2} \quad (9)$$

Molekullar zichligining farqi esa,

$$\Delta n' = n_2' - n_1' = n_2 - n_1 = \left( \frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right) dN = \Delta n + \left( \frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right) dN = \Delta n - D \frac{\Delta n}{l} \left( \frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right) \Delta S dt \quad (10)$$

Konsentratsiya farqining o'zgarishi,

$$d(\Delta n) = \Delta n' - \Delta n = -D \Delta n \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2} \cdot \frac{\Delta S}{l} dt \quad (11)$$

$V_0 = \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2}$  belgilash olib quyidagini olamiz:

$$\frac{d(\Delta n)}{\Delta n} = -D \frac{\Delta S}{V_0 l} dt \quad (12)$$

(12) ni  $\Delta n_0$  dan  $\Delta n$  gacha integrallab, bu yerda  $\Delta n_0$  molekullarining boshlang'ich zichliklari farqi quyidagini olamiz.

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp \left( - \frac{D \Delta S t}{V_0 l} \right) = \Delta n_0 \exp \left( - \frac{t}{\sigma} \right) \quad (13)$$

Kattalik muvozanatlashmagan diffuziya jarayonining ralaksiyasi vaqti yoki vaqt doimiysi deyiladi.  $t=T$  bog'langanda molekullar konsentratsiyasi farqi boshlang'ich konsentratsiyalar farqidan  $l=2,73$  marta

kamaydi.  $dM=M_1-M_2$  orqali diffuziya jarayonida  $dt$  vaqt davomida  $dS$  yuzada aralashgan gaz massasini belgilaymiz, u holda

$$dM = D \left[ \left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_1} - \left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_2} \right] dSdt \quad (14)$$

bu yerda  $\left[ \left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_1} \text{ va } \left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_2} \right]$  lar  $dS$  yuzdan  $X_1$  hamda  $X_2$  masofadagi konsentratsiya gradiyenti.

Diffuziya koeffitsiyenti  $D$  doimiy va konsentratsiyaga bog'liq emas, u holda quyidagini olamiz:

$$\left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_2} = \left( \frac{dc}{dx} \right)_{x_1} + [X_1 - (X_2)] \frac{d}{dx} \left( \frac{dc}{dx} \right) \quad (15)$$

va

$$dM = D (X_1 + X_2) \frac{d^2 c}{dx^2} dSdt \quad (16)$$

yoki

$$\frac{dM}{\Delta X \Delta S} = dc \quad u \text{ holda}$$

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2 c}{dx^2} \quad (17)$$

bu tenglik ***Fikaning ikkinchi qonunini*** ifodalaydi.

### ***Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik, diffuziya va qovushqoqlik koeffitsiyentlari orasidagi bog'lanish***

Quyidagi formulalarni bir-biriga solishtirib,

$$\eta = \frac{1}{3} nUm \quad \lambda = \frac{1}{3} U \rho \lambda \quad \text{va} \quad D = \frac{1}{3} U \lambda$$

quyidagini hosil qilamiz:

$$\eta = D \rho \quad (1)$$

Demak, gazning diffuziya va qovushqoqlik (ichki ishqalanish) koeffitsiyentlari orasida muhim munosabat mavjud ekan.

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\chi = \frac{1}{3} nmU \lambda C_v$  ga

teng, agar  $\lambda = \frac{3\eta}{nmU}$  qiymatni qo'ysak quyidagini hosil qilamiz:

$$\chi = C_v \eta \quad (2)$$

Bundan ko'rinadiki, qovushqoqlik koeffitsiyenti bosim bilan bog'liq bo'lmagan sharoitlarda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ham bosimga bog'liq bo'lmaydi. Bundan xulosa shuki, gaz joylashgan idish o'lchamidan molekular erkin yugurish yo'li uzunligi kichik bo'lishi kerak. Agar

bosim 760 mm.sim.ust.dan bir necha millimetr bosimgacha o'zgarsa, u holda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti 2-3% ga o'zgaradi.

(2) va (1) formuladagi  $\eta$  ning qiymatini qo'ysak,

$$\chi = C_v D \rho \quad (3)$$

bo'ladi.

Bundan,

$$D = \frac{\chi}{C_v \rho} \quad (4)$$

Agar (5) formulani  $\frac{dT}{dt} = a^2 \frac{d^2T}{dx^2}$  formula bilan solishtirsak, gazlarning diffuziya koeffitsiyenti D gazlarning harorat o'tkazuvchanligi  $a^2$  ga teng. (3) formula gaz molekulari bir xil bo'lgan hol uchun olingan. Agar molekular tezliklari bo'yicha Maksvelcha taqsimlanishi va boshqa faktorlar inobatga olinsa, (3) formulaga koeffitsiyentni kiritish zarur.

$$\chi = \alpha C_v \eta \quad (5)$$

Bu yerda  $\alpha$  - bir atomli gazlar uchun 2,5 dan, ko'p atomli gazlar uchun 1,5 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi.

Normal sharoitda gaz molekularining asosiy tavsiflari quyidagi jadvalda keltrilgan.

<b>Gaz</b>	<b>Tezligi <i>i</i> m/sek</b>	<b>Molekul <i>a</i> uzunligi <math>10^{-8}</math> sm</b>	<b>Qovushqoqli <i>k</i> koeffitsiyenti <math>10^6</math> g/sm sek</b>	<b>Erkin yugurish yo'li <math>10^{-8}</math> sm</b>	<b>Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti <math>10^6</math> J/sm sek grad</b>
<i>H<sub>2</sub></i>	1843	2,3	86	11,23	1660
<i>O<sub>2</sub></i>	461	2,9	187	6,47	238
<i>CO<sub>2</sub></i>	392	3,2	139	3,97	138
<i>N<sub>2</sub></i>	493	3,1	166	5,99	238
<i>He</i>	1305	1,9	189	17,98	1400
<i>Qaynatilgan H<sub>2</sub>O</i>	614	2,6	20	4,04	209

### ***Ko'chirilish tenglamasi***

Yuqorida ko'rsatilgan gazlar issiqlik o'tkazuvchanlik, ichki ishqalanish va diffuziya hodisalari uchun yozilgan.

$$dQ = \frac{1}{3} U \lambda C_v \rho \frac{dT}{dx} dS dt \quad (a)$$

$$Fdt = \frac{1}{3}nUm \lambda \frac{d\vartheta}{dx} dSdt \quad (b)$$

$$dM = \frac{1}{3}mU \lambda \frac{dn}{dx} dSdt \quad (v)$$

Bu formulalarni bitta formula bilan ifodalash mumkin va bunga **ko'chirilish tenglamasi** deb aytiladi. Haqiqatdan ham, hodisalarda gazlarda yoki bu fizik kattalikni ko'chirishi bilan ish tutdik.

(a) Tenglamada issiqlik miqdorining ko'chirilishini (b) tenglamada harorat miqdorining ko'chirilishini (v) tenglama gaz massasining ko'chirilishini ifodalaydi.

(b) Ko'chirilgan kattalikni  $\Delta G$  orqali belgilab, (a), (b) va (v) tenglamalarni quyidagi bitta ko'rinishda yozamiz:

$$\Delta G = k \frac{dH}{dx} \Delta S \Delta t \quad (1)$$

bu yerda  $k$  – birinchi holda gazning issiqlik o'tkazuvchilik koeffitsiyenti, ikkinchi holda gaz ichki ishqalanish koeffitsiyenti, uchinchi holda gazning diffuziya koeffitsiyenti.

H kattalik esa, qandaydir yo'nalish bo'yicha gaz harorati gradienti, gaz molekulari tezligi gradiyenti, gaz molekulari konsentratsiyasi gradienti.

Bu kattaliklarning hammasi ko'chirilgan G kattalikka mutanosib, shuning uchun (1) tenglamadagi  $\frac{dH}{dx}$  hosila o'rniga unga mutanosib bo'lgan  $\frac{dG}{dx}$  hosilani qo'yish mumkin.

### **Termodiffuziya**

Yuqorida ko'rsatilgan gazlarning oddiy diffuziyasidan tashqari bir qancha fizik hodisalarda termodiffuziya ham muhim rol o'ynaydi. Termodiffuziyaning mohiyati shundaki, biror gaz izotoplari, ya'ni massasi har xil bo'lgan gaz aralashmasiga harorat gradiyenti ta'sir etsa, unga yuqori bo'lmagan haroratda yengil molekular konsentratsiyalana boshlaydi. Shunda izotoplari har xil bo'lgan molekularning konsentratsiyasi farqi vujudga keladi. Oddiy diffuziya har xil molekular konsentratsiyasini tenglashtirishga intiladi. Termodiffuziyaning ta'siri esa diffuziyaga qarama-qarshi. Agar bunday gazlarda konveksion oqimlar bo'lmasa, u holda oddiy diffuziya bilan termodiffuziya orasida muvozanat yuzaga keladi.

Termodiffuziyani quyidagi yo'l bilan ta'sir ettirish mumkin. Ikkita gaz aralashmasi bilan to'ldirilgan yetarlicha uzun vertikal trubka o'qi

bo'yicha elektr toki bilan qizdirilgan sim tortilgan. Trubka devorlari esa ancha past harorat ostida turibdi. Trubkaning  $r$  radiusi bo'yicha harorat gradiyenti hosil bo'ladi. Bir element izotoplaridan, ya'ni massalari har xil bo'lgan gazlarning molekulalari qizdirilgan sim o'qi atrofi bo'ylab konsentratsiyalansa, og'ir molekulalari esa trubkaning pastki qismiga ko'chiriladi. Agar bu jarayon gazda ko'p marotaba takrorlansa, u holda yaxshi ajratilgan izotoplar olish mumkin.

Termodiffuziya nazariyasi juda murakkab. U molekulalararo kuchlar bilan bog'liq. Bo'lgan bir molekula harakat miqdori momentining ikkinchi molekula harakat miqdori momentiga ko'chirilishi bilan tavsiflanadi. Shuning uchun, ideal gaz kinetik nazariyasi termodiffuziya hodisasiga tushuncha berishi mumkin emas. Nazariya

$$dM = \frac{1}{3} mU \lambda \frac{dn}{dx} dSdt$$

diffuziya tenglamasiga quyidagi ikkinchi a'zoni kiritishni talab qiladi.

$$- \frac{D_T}{T} \cdot \frac{dT}{dx} \Delta S \Delta t$$

bu yerda  $D_T$  – izotoplarning konsentratsiyasi va boshqa faktorlarga bog'liq bo'lgan termodiffuziya koeffitsiyenti.

Hozirgi zamonaviy yadro texnikasida uran izotoplarini bo'lishda termodiffuziyadan foydalaniladi.

### ***Vakuum to'g'risida tushuncha***

Ko'pchilik kishilar “vakuum” ni hech narsasiz bo'shliq deb o'ylashadi. Biroq, olimlarning tasdiqlashlaricha, ichida umuman hech bir moddiy narsa: na biror gaz molekulasini, va na chang zarrachasini bo'lmagan joyini topib bo'lmas kerak. Shunday qilib, vakuum aslida ichida moddiy unsurlar eng siyraklashgan darajadagi mavjud bo'shliqdir. Chuqur vacuum – muhitda deyarli hech narsa qoldirilmagan bo'shliqdir. Biroq bu iborada “deyarli” soz'i baribir bosh ahamiyatga ega.

***Vakuum hosil qilishning eng oddiy usuli*** vakuumlashtirishi mo'ljallangan idishning ichidan havoni so'rib olishdir. Hozirgi kunda ham ilmiy, ham har xil ishlab chiqarish maqsadlari uchun zarur chuqur vakuumlarni yaratishga imkon beruvchi kuch-qudrati yetarli nasoslar mavjud. Ular, masalan ichidan havosi so'rib olingan elektr lampochkalarini ishlab chiqarishda foydalaniladi. Agar, bordiyu elektr lampochkalari ichida ozgina havo qoldirilsa, uning tarkibida mavjud kislorod lampochka tokka ulangan zahotiyuq tolalarini kuydirib yuborgan bo'lar edi.

Eng zamonaviy lampochkalarda vakuum nasoslari yordamida ularning ichidagi deyarli bor havoning hammasi so'rib-sug'urib olinadi. Televizorlar va radiopriyomniklarda ishlatiladigan elektron lampochkalar to'g'risida ham shu gaplarni aytish mumkin. Ularning og'zi bekitilishidan oldin ichidagi havo iloji boricha so'rib olinadi.

Odamlarga yaxshi tanish bo'lgan yana bir buyum termoslarda ham vakuumdan foydalaniladi. Termoslar qo'shqavatli "devor"ga ega, devorlar orasida havosiz bo'shliq – vakuum yaratilgan. Bunday bo'shliqda gaz molekulalari miqdori g'oyat oz darajada, ular biri-biridan olis masofalarda joylashgan, xuddi shu sababli ularning orasida o'zaro issiqlik uzatish kamayadi. Shu boisdan, agar issiq yoz kunlarida termosga sovuq sut qo'yilsa, u shunday sovuqligicha saqlanadi. Yohud aksincha, termosga quyilgan qaynoq choyni eng sovuq havoda ham qaynoq holati yo'qolmaydi.

Hozirgi vaqtda ilmiy ishlar uchun  $10^{-14}$  Pa bosimgacha vakuum hosil qilinadi. Vakuumalar quyidagi uch turga bo'linadi:

1. Past vakuum, bunda molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li  $4,72 \cdot 10^{-3}$  dan  $6,21 \cdot 10^{-8}$  m gacha bo'lib, idish o'lchamiga yaqin qiymatda bo'ladi, bu vaqtda bosim 101325 dan 1,333 Pa gacha oralig'ida bo'ladi.

2. O'rtacha vakuum, bunda molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li  $4,72 \cdot 10^{-3}$  dan  $4,72 \cdot 10^{-1}$  m gacha bo'lib, idish o'lchamiga teng yoki undan katta qiymatga ega, unda bosim 1,333 dan  $1,333 \cdot 10^{-2}$  Pa gacha oraliqda bo'ladi.

3. Yuqori vakuumda molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li  $4,72 \cdot 10^{-1}$  m dan  $0,5 \cdot 10^3$  m gacha bo'lganda idishning chiziqli o'lchamidan juda katta, bosim esa  $1,333 \cdot 10^{-2}$  dan  $1,333 \cdot 10^{-5}$  Pa gacha oraliqda bo'ladi.

Agar  $10^{-14}$  Paskal bosim hosil qilinsa,  $1 \text{ m}^3$  hajmda million ( $10^6$ ) dona molekula bo'ladi. Sayyoralar oralig'ida ham  $1 \text{ m}^3$  hajmda shuncha zarra mavjud.

Ammo, yulduz turkumlari orasida gazlar bundan ham siyraklashgan bo'lib,  $1 \text{ m}^3$  hajmda 10 dona zarra mavjudligi aniqlangan.

Texnikada yuqori vakuumdan ko'p sohalarda foydalaniladi. Masalan, elektr lampalari, televizor kineskoplari va hokazolar yasashda.

**Vakuum** – bu modda yo'g'idagi eng kichik energiyali holat. Lekin moddaning yo'qligi zarraning yo'qligini anglatmaydi. Gap shundaki, zarralar soni reaksiyalarda saqlanmaydi. Energiya, elektrik barion (Adronlar) va lepton (Leptonlar) zaryadlari saqlanadi, biroq zaryadlar soni o'zgarishi mumkin.



Agar yetarlicha energiya berilsa, vakuumda zarralarni vujudga keltirish mumkin (maydonlar va zarralar). Bu jihatdan vakuum dielektrikka o'xshaydi, zarralarning paydo bo'lishi esa kuchli maydonlarda dielektrik teshilishi (proboy) ni eslatadi.

Toza vakuumning xossalari energiya bermasdan turib qarab chiqsakchi? Bu xossalar energiya manbai borligida vakuumda paydo bo'ladigan zarralarning xossalari bilan hech ham bog'lanmagandek tuyuladi. Klassik mexanikada shunday bo'lgan bo'lar edi, ammo kvant mexanikada bunday emas. Ma'lum noaniqliklar munosabati  $\Delta E \cdot \Delta t \sim h$  har qanday sistema qisqa vaqt ichida  $\Delta t \sim h/\Delta E$  da energiyasi bo'yicha  $\Delta E$  ga farq qiluvchi holatga o'tishi mumkinligi ko'rsatilgan.

Bunday o'tishlar *virtual o'tishlar* deyiladi. Nisbiylik nazariyasiga ko'ra energiya massaga o'tishi mumkin bo'lgani uchun virtual o'tishlar zarralarning qisqa vaqt paydo bo'lishiga mos keladi.  $E=mc^2$  bo'lgani uchun noaniqliklar munosabatidan m massali zarralar  $h/mc^2$  vaqtda virtual hosil bo'lishini topamiz. Proton uchun bu vaqt  $10^{-24}$  s bo'ladi.

Virtual zarralar paydo qiladigan fizik effektlar qanday ekan? Atom fizikasida bu effektlar uncha sezilmaydi. Masalan, atom qobig'idagi elektronning energiya sathlari virtual fotonlar bilan o'zaro ta'sirlashish natijasida foizning ulushlari qadar siljiydi. Kulon qonuniga ko'ra *vakuumning qutblanishi* (ya'ni, dastlabki maydonlari bilan ekranlaydigan elektron pozitron juftining virtual paydo bo'lishi) tufayli kichik masofalarda buziladi.

Biroq qanchalik mayda zarralar kuzatilayotgan bo'lsa, ularni o'rab olgan vakuum o'zining virtual zarralari bilan shunchalik katta rol o'ynaydi. Yadroviy moddada protonlar vakuumdagiga qaraganda kichik massaga ega bo'ladi, chunki vakuumda bu massaga "yopishib qolgan" virtual  $\pi$ - mezonlarning massasi qo'shiladi va yadroviy moddada bu virtual mezonlarni protonlar har tomonga turtadi.

Kvarklarda vakuumning xossalari muhim rol o'ynaydi. Erkin kvarklarning mavjud bo'lishi mumkin emasligi, ehtimol, yakka kvarklar vakuumda vujudga keltiradigan juda katta o'zgarishlarga bog'liq. Qo'pol qilib aytganda, o'ta o'tkazgichda magnit maydon surib chiqarilgani singari *kvarkning glyuon maydoni* ham vakuum tomonidan surib chiqariladi. Natijada kvark maydoni o'ta o'tkazgichdagi magnit uyurmalariga o'xshash naycha tarzida siqiladi (kuchli o'zaro ta'sirlar). Bu naycha erkin kvark uchun cheksiz uzunlikda bo'lar va cheksiz energiayni eltar edi. Shuning uchun ham kvarklar erkin holatda mavjud bo'la olmaydi (nisbiylik nazariyasiga ko'ra ular cheksiz og'ir bo'lgan bo'lar edi). Aslida

naychaning “uzilishlari” yuz beradi, bu “uzilishlar” ning uchlarida kvark-antikvark juftlari hosil bo’ladi va natijada kvarklarni adronlardan “urib chiqarishga” harakat qilinganda bir qancha adronlardan iborat sel “adron zarralar” hosil bo’ladi.

To’g’ri, maydonni naycha tarzida siqadigan narsa ma’lum bo’lgan (kuper juftlari) o’ta o’tkazgichdan farqli o’laroq (o’ta o’tkazuvchanlik), vakuumda bu yetarlicha aniq emas. Bu yerda asosiy vazifani bajaruvchi virtual zarralarni ajratish mumkin bo’lmayapti. Biroq ayni shu virtual jarayonlar vakuumda kvarklarning odatdan tashqari xossalariga olib kelishi shubha tug’dirmaydi.

O’ta kichik masofalarda vakuumning xossalari yanada sirlidir. Kutilmaganda kvant effektlarning gravitatsion effektlar bilan aloqasi paydo bo’ladi (tortishish). O’ta og’ir virtual zarralar o’z atrofida sezilarli gravitatsion maydon hosil qiladi, u esa fazo geometriyasini buza boshlaydi. Bu xil oxirigacha o’rganilmagan effektning ikir-chikirigacha berilmasdan, bunday virtual zarrlarning faqat massalarining va ularga tegishli kompton to’lqin uzunliklarining (Kompton effekti) kattaliklarini aniqlash mumkin:

$$m \approx \sqrt{\frac{hc}{G}} \qquad \lambda \approx \frac{h}{mc}$$

bunda  $G$  tortishish doimiysi. Son qiymatlarini qo’yib topamiz:  $m \sim 10^{19} \text{ GeV}$ ,  $\lambda \sim 10^{-33} \text{ sm}$ . Hozircha bunchalik katta energiyalarda va bunchalik kichik fazoviy masshtablarda biror ilmiy eksperiment o’tkazishni tasavvur qilib bo’lmaydi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

Normal sharoitda vodorodning diffuziya koeffitsiyentini toping. Vodorod molekulasining o'rtacha erkin yugurish yo'li  $1,6 \cdot 10^{-7}$  m.

**Berilgan:**

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T=273 \text{ K}$$

$$\mu=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\lambda=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$D=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$D = \frac{1}{3} v \lambda$$

Bu yerda,

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

U holda,

$$D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda$$

ga teng.

Hisoblaymiz:

$$D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 273}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-7} = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

### 2-masala

Normal sharoitda geliyning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

**Berilgan:**

$$P=10^5 \text{ Pa}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T=273 \text{ K}$$

$$\mu=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$d=2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$D=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$D = \frac{1}{3}v\lambda$$

Bu yerda,

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$$

ga teng va

$$n = \frac{P}{kT}$$

ekanligini e'tiborga olsak, u holda,

$$D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}}$$

Hisoblaymiz:

$$D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 273}{4 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273}{\sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5}} = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

### 3-masala

Vodorod uchun diffuziya koeffitsiyentining haroratga bog'liqlik grafigini chizing.

**Berilgan:**

$$P=10^5 \text{ Pa}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T=100 \text{ K}, 200 \text{ K}, 300 \text{ K}, 400 \text{ K}, 500 \text{ K}$$

$$\mu=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$d=2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$D=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$D = \frac{1}{3}v\lambda$$

Bu yerda,

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$$

ga teng va

$$n = \frac{P}{kT}$$

ekanligini e'tiborga olsak, u holda,

$$D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}}$$

Hisoblaymiz:

$$D_1 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 100}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

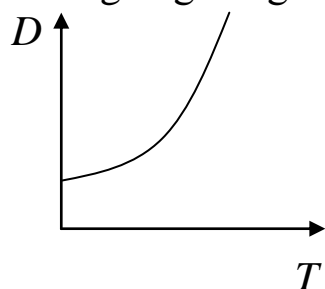
$$D_2 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 200}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 200}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5} = 18,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$D_3 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 300}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5} = 32,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$D_4 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 400}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 400}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5} = 51,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$D_5 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 500}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 500}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 10^5} = 74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

T ning D ga bog'liqlik grafigini chizamiz:



#### 4-masala

Qanday bosimda berilgan gaz ichki ishqalanish koeffitsiyentining diffuziya koeffitsiyentiga nisbati 0,3 g/l ga teng. Gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 632 m/s.

**Berilgan:**

$$\frac{\eta}{D} = 0,3 \text{ g / l}$$

$$v = 632 \text{ m/s}$$

$$P = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gaz ichki ishqalanish koeffitsiyenti va diffuziya koeffitsiyenti formulalarini yozib, nisbatini topamiz:

$$\frac{\eta}{D} = \frac{\frac{1}{3} v \lambda \rho}{\frac{1}{3} v \lambda} = \rho$$

Shartga asosan,

$$\frac{\eta}{D} = \rho = 0,3 \text{ g/l} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

Endi, molekulaning o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozib, undan  $P$  bosimni topib olamiz:

$$v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

Bundan,

$$P = \frac{\rho v^2}{3}$$

Hisoblaymiz:

$$P = \frac{\rho v^2}{3} = \frac{0,3 \cdot 632^2}{3} = 39942 \text{ Pa} = 300 \text{ mm .sim .ust}$$

### 5-masala

Diffuziya koeffitsiyenti  $0,142 \text{ sm}^2/\text{s}$  bo'lgan azot molekulasi normal sharoitda ichki ishqalanish koeffitsiyentini toping.

**Berilgan:**

$$D=0,142 \text{ sm}^2/\text{s}$$

$$P=10^5 \text{ Pa}$$

$$T=273 \text{ K}$$

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$\mu=28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\eta=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Ichki ishqalanish koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho$$

va

$$D = \frac{1}{3} v \lambda$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho = D \rho$$

$\rho$  ni molekulalarning o'rtacha kvadratik tezliklari formulalarini tenglashtirishdan topamiz:

$$v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

va

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$$\rho = \frac{P \mu}{RT}$$

Bu qiymatni yuqoridagi formulaga qo'ysak,

$$\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho = D \rho = \frac{DP \mu}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$\eta = \frac{DP \mu}{RT} = \frac{1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 10^5 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273} = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^2 / \text{s}$$

## **V. BO'LIM**

### **ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK**

#### ***Issiqlik o'tkazuvchanlik***

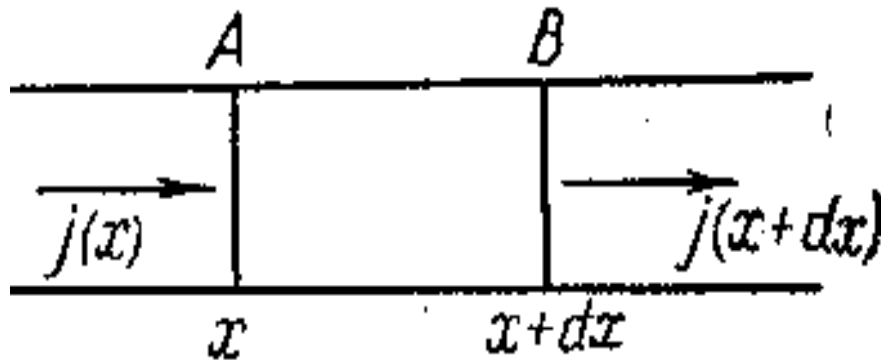
1. Endi issiqlik o'tkazuvchanlikning matematik nazariyasi elementlarini ko'rib chiqamiz. Bu nazariyaga XIX-asrning birinchi choragida fransuz matematigi Fure (1768-1830) asos solgan edi. Tabiiyki, Fure teplotod nazariyasi tasavvurlariga asoslandi, chunki o'sha vaqtda barcha issiqlik hodisalarini ana shu tasavvurlar asosida tushuntirishga intilar edilar. Bu tasavvurlar noto'g'ri. Biroq biz ko'rdikki, agar sistemaning hajmi yoki bosimi o'zgarmas saqalansa, u holda hodisalar shunday sodir bo'ladiki, bunda issiqlik xuddi faqat fazoda siljiydigan, biroq yaratilishi yoki yo'q bo'lishi mumkin bo'lmagan moddadek tuyuladi. Agar sistemaning hajmi doimiy bo'lsa, u holda issiqlik miqdorini sistemaning ichki energiyasi bilan, agar bosim doimiy bo'lsa, u holda sistemaning entalpiyasi bilan tenglashtirish mumkin. Har ikkila holda ham issiqlik uzatishga doir Fure nazariyasining matematik asoslari to'g'riligicha qoladi, holbuki ularning fizik asoslanishi Fure asoslagan tasavvurlarga mutlaqo bog'liq emas.

Kelgusida issiqlikning uzatilishi faqat issiqlik almashinish yo'li bilan amalga oshadi deb faraz qilinadi. Konveksiya yo'q deb faraz qilinadi. Qattiq jismlarda bu o'z-o'zidan amalga oshadi. Suyuqliklar va gazlarda konveksiyani yo'qotish choralari ko'rish kerak, masalan, jismlarni yuqoridan qizdirish kerak. Shuningdek, issiqlikning nur chiqarishga bo'lgan sarfini nazarga olmaslik kerak. Bundan tashqari, sistemaning hajmi doimiy saqlanadi, shuning uchun issiqlik uzatish jarayonida hech qanday modda siljishi yuzaga kelmaydi. Nihoyat, faqat bir o'lchamli masalalarni qarsh bilan cheklanamiz, ya'ni jismning harorati vaqt va faqat bitta fazoviy koordinataga bog'liq bo'ladi.

***2. Issiqlik o'tkazuvchanlikning matematik nazariyasida issiqlikning tarqalishi xuddi suyuqlikning oqishi deb qaraladi.*** Issiqlik oqimining zichligi deb yo'nalishi issiqlikning tarqalishi bilan mos tushadigan, son jihatdan issiqlik oqimi yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan bir kvadrat santimetr yuzadan bir sekundda o'tgan issiqlik miqdoriga teng  $j$  vektorga aytiladi. Bir o'lchamli masalalarda  $j$  vektor qanoatlantiradigan differensial tenglamani topamiz.



Issiqlik oqimi yo'nalishi  $X$  o'qiga parallel bo'lgan cheklanmagan muhit bor deylik. Umumiy holda muhitning xossalari shu yo'nalishda o'zgarishi mumkin. Undan tashqari bu xossalar vaqt davomida ham o'zgarishi mumkin. Shuning uchun issiqlik oqimining zichligi  $x$  koordinata va  $t$  vaqtning funksiyasi deb qarash mumkin:  $j=j(x, t)$  muhitda cheksiz uzun, yasovchilari  $X$  o'qiga parallel bo'lgan prizma yoki silindrni ajratamiz va bunday silindrning  $dx$  uzunlikdagi AB cheksiz kichik qismini qaraymiz (1-rasm).



1-rasm.

Silindrning ko'ndalang kesim yuzasi  $S$  bo'lsin. AB silindrga kordinatasi  $X$  bo'lgan A asosi orqali  $dt$  vaqt ichida kirayotgan issiqlik miqdori  $j(x)Sdt$  ga teng. Xuddi shu vaqt ichida B asos orqali ketayotgan issiqlik miqdori  $j(x+dx)Sdt$  bo'ladi. Silindrning yon qismlaridan issiqlik kirmaganligi uchun  $dt$  vaqt ichida silindrning biz qarayotgan qismiga kirayotgan to'liq issiqlik miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$[j(x) - j(x + dx)]Sdt = -\frac{dj}{dx} Sdxdt$$

Biroq, bu issiqlikni  $dM \cdot c_v dt$  ko'rinishda ifodalash ham mumkin. Bu yerda  $dM = \rho S dx$  – AB silindrning massasi,  $c_v$  – solishtirma issiqlik sig'imi,  $dT$  haroratning ortishi. Har ikkala ifodani tenglab va qisqartirishlarni amalga oshirib quyidagilarni olamiz:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\frac{dj}{dx} \quad (1)$$

3. Endi issiqlik oqim zichligi va muhitning  $T$  harorati orasidagi bog'lanish aniqlash kerak. Tajriba shuni ko'rsatadiki, muhitning harorati faqat nuqtadan nuqtaga o'zgargandagina, issiqlik oqimi bo'lar ekan. Issiqlik hamma vaqt yuqori haroratdan past harorat tomonga oqadi. Eng sodda holi  $l$  qalinlikdagi cheksiz bir jinsli plastinka bo'lgan holdir. Agar plastinkaning bir tomonida  $T_1$  harorat, ikkinchi tomonida  $T_2$  harorat saqlansa, va bunda  $T_1 > T_2$  bo'lsa, u holda tajriba shuni ko'rsatadiki, **issiqlik oqimi haroratlar farqi  $T_1 - T_2$  ga to'g'ri mutanosib, plastinkaning  $l$**

**qalinligiga teksari mutanosib ekan.** Matematik ravishda buni shunday ifodalash mumkin:

$$j = \varkappa \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (2)$$

bu yerda  $\varkappa$  - faqat plastinkaning materiali va uning fizik holatiga bog'liq bo'lgan musbat doimiy. Bu doimiy issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi.

Aytaylik, plastinka cheksiz yupqa bo'lsin. Agar  $X$  o'q haroratning pasayishi tomoniga yo'nalgan bo'lsa u holda  $l=dx$ ,  $T_1=T(x)$ ,  $T_2=T(x+dx)$

$$\frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{T(x + dx) - T(x)}{dx} = \frac{dT}{dx}$$

bo'ladi va (1) formula ushbu ko'rinishga keladi.

$$j = -\varkappa \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

(3) ifoda  $X$  o'qi haroratining ko'tarilish tomoniga yo'nalgan bo'lganda ham to'g'ri bo'lib qoladi, chunki bu holda  $l=-dx$ ,  $T_1=T(x+dx)$ ,  $T_2=T(x)$  bo'ladi. Bu ifoda muhit bir jinsli bo'lmasdan, ixtiyoriy harorat taqsimotida bo'lganida ham to'g'ri bi'ladi, shuningdek, muhit qatlamli bo'lmasdan uning xossalari va harorati qolgan fazoviy koordinatalarning funksiyasi bo'lgan holda ham to'g'ri bo'ladi. Fazoning qaralayotgan nuqtasida  $X$  o'qini haroratning maksimal pasayishi yoki ortishi tomoniga yo'naltirib, bu yo'nalishga perpendikulyar bo'lgan cheksiz yupqa qatlamni ko'rishning o'zi yetarli. Bunday qatlamni bir jinsli deb hisoblash va unga (3) formulani qo'llash mumkin. Issiqlik o'tkazuvchalik koeffitsiyenti  $\varkappa$  barcha fazoviy  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , koordinatalarning funksiyasi bo'ladi. Bizning bir o'lchamli masalamizda bu koeffitsient faqat bitta fazoviy koordinata  $x$  ga bog'liq bo'ladi:  $\varkappa = \varkappa(x)$ .

Agar (3) ifodani (1) formulaga qo'ysak, u holda quyidagi hosil bo'ladi.

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dx} \left( \varkappa \frac{dT}{dx} \right) \quad (4)$$

**Bu tenglama issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi deb ataladi.** Muhit bir jinsli bo'lgan va  $\varkappa$  koeffitsiyent haroratga bog'liq bo'lmaydigan xususiy holda, bu tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = \varkappa \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (5)$$

yoki

$$\frac{dT}{dt} = \chi \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (6)$$

bu yerda

$$\chi = \frac{\aleph}{\rho c_v} \quad (7)$$

belgilash kiritilgan.  $\aleph$  **doimiy muhitning harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi.**

Muhitda issiqlik manbalari bo'lishi mumkin. Masalan, issiqlik elektr toki o'tishi yoki radioaktiv yemirilish natijasida ajralishi mumkin. Biz bunday issiqlik manbalarini nazarga olmadik. Ularni e'tiborga olish uchun manbalarning muhitning hajm birligida bir sekunda ajratgan issiqlik miqdoriga teng bo'lgan  $q$  kattalikni kiritamiz. U holda (1) tenglamaning o'rniga quyidagicha yozish kerak bo'ladi:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\frac{dj}{dx} + q \quad (8)$$

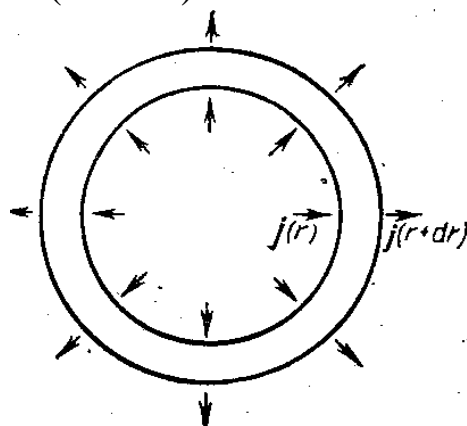
Bunga muvofiq holda boshqa tenglamalar ham o'zgaradi.

4. Muhitning xossalari va harorati hamma uchala fazoviy koordinatalar  $x, y, z$  ga bog'liq bo'lgan umumiy holda jismdagi issiqlik balansini ifodalovchi issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\left(\frac{dj_x}{dx} + \frac{dj_y}{dy} + \frac{dj_z}{dz}\right) + q \quad (9)$$

Biroq bunday tenglamaning yechimini analitik ravishda faqat eng sodda hollardagina olish mumkin. Muhit va unda haroratning taqsimlanishi **sferik yoki silindrik simmetriyaga ega** bo'lgan hollar eng muhim hollardir. Shuning uchun biz (9) tenglamani keltirib chiqarmaymiz, balki sferik va silindrik simmetriya hollari bilan cheklanamiz. Bunday hollarda to'g'ri burchakli koordinatalar o'rniga **sferik yoki silindrik koordinatalar sistemasi qulayroq bo'ladi.**

Dastlab, sferik simmetriya holini ko'raylik. Issiqlik oqimi zichligi  $j$  radius bo'ylab yo'nalgan shu bilan birga  $j$  kattalik vaqt bilan birga faqat  $r$  ga bog'liq. Simmetriya markazi atrofida radiuslar  $r$  va  $r+dr$  bo'lgan ikkita konsentrik sferalar chizamiz (2-rasm).



2-rasm.

Bu sferalar orasidagi fazoga ularning birinchisi orqali  $dt$  vaqt ichida kiradigan issiqlik miqdori  $j(r) \cdot 4\pi r^2 dt$  ga teng. Shu vaqt ichida ikkinchi sfera orqali chiquvchi issiqlik miqdori  $j(r+dr) \cdot 4\pi(r+dr)^2 dt$  teng. Bu ikki miqdorni  $4\pi(jr^2)_r dt$  va  $4\pi(jr^2)_{r+dr} dt$  ko'rishda yozamiz. Bunda gap faqat argumentning turli  $r$  va  $r+dr$  qiymatlaridagi ayni bir funksiya  $jr^2$  to'grisida ketayotgani qayd qilinadi. Ular orasidagi

$$4\pi[(jr^2)_r - (jr^2)_{r+dr}]dt = -4\pi \frac{d}{dr}(r^2 j) dr dt$$

farq atrof-fazodan  $dt$  vaqt ichida qarlayotgan sferik qatlamga oqib kirayotgan issiqlik miqdorini beradi. Issiqlik manbalari bo'lganida bunga yana bu manbalar beradigan  $4\pi q r^2 dr dt$  issiqlik miqdorini ham qo'yish mumkin. Biroq qatlamdagi issiqlik miqdorining o'zgarishini  $\rho \cdot 4\pi \cdot r^2 dr \cdot c_v dT$  ko'rishda ifodalash mumkin. Shuning uchun issiqlik balansi tenglamasi

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr}(r^2 j) + q \quad (10)$$

bo'ladi. (3) munosabatning o'rniga  $j = -\kappa \frac{dT}{dr}$  yozish kerak bo'ladi, shuning uchun

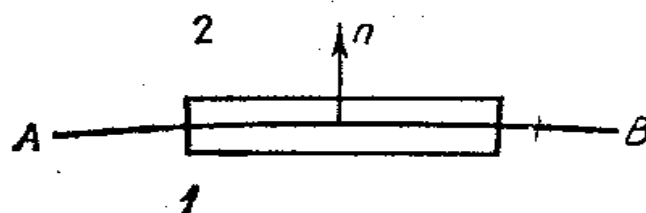
$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( \kappa r^2 \frac{dT}{dr} \right) + q \quad (11)$$

Silindrik simmetriya bo'lganida ham shunga o'xshash mulohaza yuritilardi.  $r$  deb simmetriya o'qiga bo'lgan masofani tushunib, quyidagini olamiz:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\kappa r j) + q \quad (12)$$

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( \kappa r \frac{dT}{dr} \right) + q \quad (13)$$

5. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamsiga yana umumiy munosabatni qo'shimcha qilish mumkin. Bu munosabat ikki ixtiyoriy muhitning ajralish chegarasida bajarilishi kerak. Bu chegaraviy shart shundan iboratki, ko'rsatilgan chegaraning har ikkala tomonida  $j$  vektorining normal tashkil etuvchilari bir xil bo'lishi kerak. Haqiqatdan ham, AB muhitlarning ajralish chegarasi,  $n$ -bu chegaraga masalan, birinchi muhitdan ikkinchi muhitga o'tkazilgan normalning birlik vektori bo'lsin (3-rasm).



3-rasm.

Fikran yasovchilari ajralish chegarasiga perpendikulyar, asoslari esa uning turli tomonida bo'lgan cheksiz kichik silindrni qirqib olaylik. Silindrning balandligi  $h$  uning asoslarining chiziqli o'lchamlariga nisbatan yuqori tartibli cheksiz kichik kattalik bo'lishi kerak. Bunday bi'lganda silindrning yon sirti orqali o'tadigan issiqlik oqimini hisobga olmaslik mumkin bo'ladi. Agar  $S$  – silindrning asosi bo'lsa, u holda silindrga 1 sekund ichida kiruchi issiqlik oqimi

$$[j_n^{(1)} - j_n^{(2)}]S$$

ga teng bo'ladi. Biroq bu kattalik ham, silindrning ichidagi issiqlik miqdori ham uning  $Sh$  hajmiga mutanosib bo'lishi, ya'ni  $h \rightarrow 0$  ga intilganda limitda nolga aylanishi kerak. Shunday qilib, silindrning har ikkila asosi bir-biri ustiga tushadigan AB chegaradagi limitda

$$j_n^{(1)} = j_n^{(2)}$$

bo'lishi kerak. ***Bu, har qanday chegarada issiqlik oqimi vektorining normal tashkil etuvchisi uzluksiz bo'ladi,*** demakdir. Isbot qilishda muhitlarning ajralish chegarasida sirdagi zichligi chekli bo'lgan issiqlik manbalari yo'q deb fraz qilinadi. Bunday issiqlik manbalari bo'lganida  $\mathbf{j}$  vektorining normal tashkil etuvchisida uzluksizlikning uzilishlari bo'lishi mumkin.

### ***Haroratni muvozanatlash***

Haroratlari  $T_1$  va  $T_2$  bo'lgan hamda adiabatik qobiq bilan o'ralgan ikki jismdan iborat sistemada faqat issiqlik almashinuvi kechayotgan bo'lsin. Agar birinchi jism issiqlik sig'imi  $C_1$  bo'lsin va birinchi jism vaqt birligi ichida berayotgan va ikkinchi jism vaqt birligi ichida olayotgan issiqlik miqdorlari teng bo'lsin. U holda  $C_2$  issiqlik sig'imi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\delta Q = -C_1 dT_1 = C_2 dT_2 \quad (1)$$

bu yerda  $dT_1$  – birinchi jism haroratining pasayishi,  $dT_2$  – ikkinchi jism haroratining ortishi.

Doimiy bosim ostida jismlar issiqlik sig'imi bir biriga teng deb olamiz ( $C=C_p$ ).

$$DQ/dt = q = k \cdot \Delta S \cdot dT/dx$$

Fure tenglamasidan foydalanib, quyidagini hosil qilamiz:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = - \frac{k \Delta S (T_1 - T_2)}{x} \quad (2)$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = + \frac{k \Delta S (T_1 - T_2)}{x}$$

Agar  $T_1 > T_2$  bo'lsa, u holda  $\frac{dT_1}{dt} < 0$  bo'ladi va  $\frac{dT_2}{dt} > 0$ , ya'ni haroratlar muvozanatlashadi, issiqroq jism harorati pasayadi, kam issiqroq jism harorati ortadi.

(2) tenglamalarni qo'shib, integrallasak, u holda

$$C_1 T_1 + C_2 T_2 = \text{const} \quad (3)$$

Vaqtning  $t=0$  momentida haroratlarni  $T_{01}$  va  $T_{02}$  deb belgilaymiz va

$$C_1 T_1 + C_2 T_2 = C_1 T_{01} + C_2 T_{02} \quad (4)$$

Uzoq vaqt o'tishi bilan jismlar harorati tenglashadi:  $T_1 = T_2 = T$ , u holda,

$$T = \frac{C_1 T_{01} + C_2 T_{02}}{C_1 + C_2} \quad (5)$$

Jismlar birining issiqlik sig'imi juda kichik ( $C_1 \ll C_2$ ) va  $T_2 = T_{02} = \text{Const}$  bo'lganda haroratlarning muvozanatlashish tezligini topamiz. Ikkinchi jism harorati o'zgarmaydi.  $\Theta = T_1 - T = T_1 - T_2$  deb belgilasak, u holda

$$\frac{dT_1}{dT} = \frac{d(T_1 - T)}{dt} = \frac{d\Theta}{dt} \quad (6)$$

va (2) tenglama quyidagicha ko'rinish oladi:

$$C_1 - \frac{d\Theta}{dt} = -\frac{k \cdot \Delta S \Theta}{x} = -k' \Theta \quad (7)$$

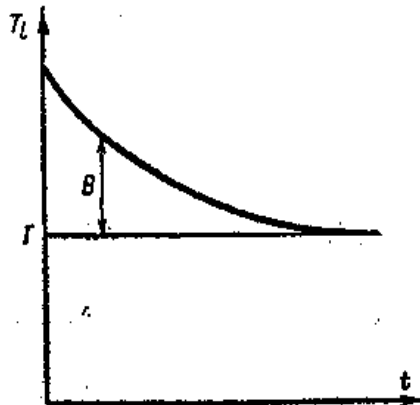
bu tenglamani integrallab,

$$\ln \Theta = -\frac{k'}{C_1} \cdot t + \text{const} \quad (8)$$

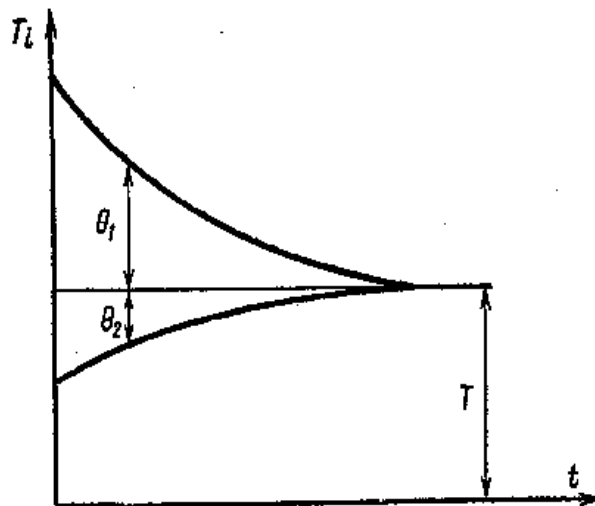
ni olamiz.

Integrallash konstantasini boshlang'ich shartlardan:  $t=0$ ,  $T_1 = T_{01}$  va  $T_{01} - T_{02} = \Theta_0$  dan topamiz, u holda

$$\Theta = \Theta_0 \cdot e^{-\frac{k'}{C_1} t} \quad (9)$$



4-rasm.



5-rasm.

Birinchi jism haroratining vaqt bo'yicha pasayishi eksponenta bilan tasvirlanadi (4-rasm). Jismlar orasidagi issiqlik o'tkazuvchanlik katta va  $C_1$  issiqlik sig'imi kichik, ya'ni  $\frac{k'}{C_1} = \frac{k \cdot \Delta S}{x \cdot C_1}$  kattalik oshsa, harorat tez pasayadi.

Jismlar issiqlik sig'imi bir tartibda bo'lsa, ular haroratining o'zgarishi eksponensial qonun bo'yicha ro'y beradi (5-rasm).

Yuqoridagilarga o'xshash ifodalarga kelimiz.

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= \Theta_{01} e^{-\frac{k'}{C} \cdot t} \\ \Theta_2 &= \Theta_{02} e^{-\frac{k'}{C} \cdot t} \end{aligned} \quad (10)$$

bu yerda

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$$

Umumiy vazifalar ichida asosiy vazifa-bu to'siqdan nostatsionar issiqlik oqimi o'tganda haroratning o'zgarishidir. Haroratlari har xil bo'lgan muhitni ajratib turuvchi  $\Delta S$  yuzali idish devoriga kelayotgan issiqlik miqdori  $\delta Q_1$  va undan chiqayotgan issiqlik miqdori  $\delta Q_2$  bo'lsin. Devor ichidagi harorat gradienti o'zgaradi.

$$\delta Q_1 - \delta Q_2 = \delta Q = k \cdot \Delta S \cdot dt \left( \frac{dT}{dx} + d \frac{dT}{dx} \right) - k \cdot \Delta S \cdot dt \cdot \frac{dT}{dx} = k \cdot \Delta S \cdot dt \cdot d \frac{dT}{dx} \quad (11)$$

Bu formuladagi  $d \frac{dT}{dx}$  harorat gradiyentining kichik o'zgarishini bildiradi.  $\delta Q = \delta Q_1 - \delta Q_2$  devorning qandaydir  $\Delta S \cdot dx$  hajmida haroratning  $dT$  kattalikka oshishiga olib keluvchi issiqlik miqdori. Shuning uchun,

$$\delta Q = m \cdot C \cdot dT = \rho \cdot C \cdot \Delta S \cdot dx \cdot dT \quad (12)$$

(11) ni (12) ga tenglashtirib, haroratning muvozanatlashishi tezligini topamiz:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k}{\rho \cdot C} \cdot \frac{d}{dx} \left( \frac{dT}{dx} \right) = \frac{d^2 T}{dx^2}$$

bu yerda  $\frac{k}{\rho \cdot C} = a^2$  – harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, u holda

$$\frac{dT}{dt} = a^2 \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (13)$$

yoki (issiqlik oqimining barcha yo'nalishi bo'yicha)

$$\frac{dT}{dt} = a^2 \cdot \nabla^2 \cdot T \quad (14)$$

bu yerda

$$\nabla^2 \cdot T = \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + \frac{d^2 T}{dz^2}$$

Bu tenglama fizikaning asosiy tenglamalaridan biri bo'lib, **Fure-Kirxgof tenglamasi** deyiladi.

Hisoblashlar va tajribalar shuni ko'rsatadiki, harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti metall va gazlar uchun birga teng, demak, metall va gazlarda harorat muvozanatlashuvi bir tartibda kechadi. Agar xonaning biror joyida harorat oshsa, konveksiyasiz ham xonaning barcha joyida harorat muvozanatlashadi.

### **Haroratning davriy rejimi (tartibi)**

Endi, agar ikkinchi jism harorati davriy ravishda quyidagi qonun bo'yicha o'zgarayotgan bo'lsa, u holda birinchi jism haroratining o'zgarishini ko'rib chiqamiz,

$$T_2 = T_0 + T_{02} \cdot \cos \omega \cdot t \quad (1)$$

Bu qiymatni

$$C_1 \frac{dT}{dt} = - \frac{k \cdot \Delta s (T_1 - T_2)}{x}$$

ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} + k' T_1 = k' T_0 + k' T_{02} \cdot \cos \omega t \quad (2)$$

Birinchi jismning ikkinchi jism o'rtacha haroratidan chetlanishini  $\Theta$  desak, u holda  $T_1 = T_0 + \Theta$ ; bu qiymatni (2) ga qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$\frac{C_1}{k'} \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = T_{02} \cdot \cos \omega t \quad (3)$$

Bu tenglama integrali

$$\Theta = A \cdot \cos(\omega t - \varphi) + A_0 e^{-\frac{k'}{C_1} t} \quad (4)$$

Bu yerda  $A_0$  – doimiylik,  $t=0$  boshlang'ich shartdan topiladi; u holda

$$\Theta = A \cdot \cos \varphi + A_0 \quad (5)$$

$A$  va  $\varphi$  qiymatlarini quyidagi formulalardan topamiz:

$$A = \frac{T_{02}}{\sqrt{1 + \left( \frac{C_1 \omega}{k'} \right)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{C_1 \omega}{k'}$$

Agar  $t \rightarrow \infty$  bo'lganda, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\Theta = A \cdot \cos(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

Demak, ikkinchi jism harorati qanday davr bilan o'zgarsa, birinchi jism harorati ham xuddi shunday davr, lekin boshqacha amplituda va faza bilan o'zgaradi.



Agar birinchi jism  $C_1$  issiqlik sig`imi kichik va to`siqning issiqlik o`tkazuvchanligi katta bo`lsa, u holda

$$\frac{C_1}{k'}\omega \ll 1 \text{ yoki } \omega \ll \frac{k'}{C_1}$$

ya`ni ikkinchi jismning haroratining o`zgarish chastotasi  $\frac{k'}{C_1}$  ga nisbatan kichik va taxminan

$$A = \frac{T_{02}}{\frac{C_1}{k'}\omega};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \infty;$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

Birinchi jism haroratining o`zgarish amplitudasi  $A$ , ikkinchi jism harorati o`zgarishi chastotasiga teskari mutanosib.

Agar  $\frac{k'}{C_1}$  ga nisbatan  $\omega$  yetarlicha katta qiymatlar olsa, u holda  $A$  **amplituda nolga intiladi**. Bu shuni ko`rsatadiki, birinchi jism harorati o`zgarmaydi. Shunday hodisani Yer harorati uchun ham kuzatiladi, chunki unga katta bo`lmagan chuqurliklarda harorat deyarli o`zgarmaydi.

### ***Nyutoning sovish qonuni***

Faraz qilaylik, boshlang`ich harorati  $T_1$  bo`lgan issiq jism mavjud bo`lsin. Atrof-muhit harorati  $T_2$ . Jism harorati atrof-muhit haroratidan yuqori va u oradan vaqt o`tishi bilan issiqligini yo`qotib, harorati atrof-muhit haroratiga tenglashadi.

Atrof-muhit harorati  $T_2$ , boshlang`ich harorat  $T_1$  va jarayon boshlangandan  $t$  vaqt o`tgandan keyingi jismning sovish harorati  $T$  orasidagi bog`lanishni topamiz. Jism soviganda yo`qotgan  $dQ$  issiqlik miqdorini hisoblaymiz. Vaqtning kichik oraliqlarida  $dQ$  issiqlik miqdori vaqtga mutanosib. Issiqlik uzatish mutanosiblik koeffitsiyenti  $h$  ni kiritamiz. Bu koeffitsiyent jism o`zining va uning sirt holatining tavsifi hisoblaniladi.

Masalan, bitta jismning silliq va g`adir-budur sirlari har xil koeffitsiyent qiymatlarini qabul qiladi.

***Issiqlik uzatish koeffitsiyenti*** jism geometrik tavsifining murakkab funksiyasidir.

Jism uzatgan issiqlik miqdori, jism  $S$  yuzasiga, jism harorati farqiga va  $T_2$  atrof-muhit haroratiga mutanosib:

$$\delta Q = hS (T - T_2) dt \quad (1)$$

Ikkinchi tomondan  $dQ$  issiqlik miqdori issiqlikning  $\delta Q$  balans tenglamasiga asosan quyidagiga teng:

$$\delta Q = -mcdT \quad (2)$$

bu yerda  $c$  – solishtirma issiqlik miqdori.

(1) va (2) ifodalarni tenglashtirib, jism harorati ma'lum  $T^1$  haroratgacha pasayishi uchun ketgan  $t$  vaqtni topish tenglamasini topamiz:

$$hS (T - T_2) dt = -mcdT \quad (3)$$

Bu tenglamani boshlang'ich  $T_1$  haroratdan oxirgi  $T^1$  haroratgacha integrallab, quyidagini olamiz.

$$t = -\frac{mc}{hS} \int_{T_1}^{T^1} \frac{dT}{T - T_2} = -\frac{mc}{hS} \ln \frac{T^1 - T_2}{T_1 - T_2} \quad (4)$$

Bunga **Nyutonning sovish** qonuni deyiladi.

$\frac{hS}{mc} = b$  belgilash kiritib, (4) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$t = -\frac{1}{b} \ln \frac{T^1 - T_2}{T_1 - T_2} \quad (5)$$

Endi atrof-muhit harorati  $T_2$  o'zgarmas bo'lganda, jism harorati  $T_1$  dan  $T^1$  gacha pasayganda ketgan vaqt formulasini topamiz:

$$T^1 = T_2 + (T_1 - T_2) e^{-bt} \quad (6)$$

Oxirgi formuladan katta vaqt oraliqlarida jism va atrof-muhit haroratlari ( $t \rightarrow \infty$  da  $T^1 = T_2$ ) tenglashadi. Bu natijaga biz soviyotgan jismda kechayotgan real jarayonlarni e'tiborga olmadik:

Masalan, **jismning nur chiqarishini e'tiborga olsak, u holda jism Nyuton sovish qonuniga nisbatan tezroq soviydi.**

Nyuton qonuni formulasidan qattiq jism bilan uni o'rab turgan suyuq va gaz orasidagi issiqlik almashinuvni hisoblash mumkin.

### **Konveksiya. Konvektiv issiqlik almashinuv tenglamasi**

Suyuqlik yoki gaz bilan issiqlik almashinuv deyarli hamma vaqt konveksiya tufayli ro'y beradi. Suyuqlik yoki gazning harakatlanuvchi massasi orqali issiqlik uzatilishi **konveksiya** deyiladi. Qattiq jisimda esa issiqlik o'tkazuvchanlik uchun jism sirtlari tegishi talab qilingan edi.

Agar issiqlik uzatish nur chiqarish bo'yicha kuzatilayotgan bo'lsa, u holda muhitda to'siq bo'lmasligi hamda muhitning nur yutishi kam bo'lishi talab etiladi.

Konveksiya suyuqlik yoki gaz harakati bilan bog'liq bo'lganligi uchun konvektiv issiqlik almashinuv jarayonini Fure-Kirxgofning harorat

o`tkazuvchanlik tenglamasidan tashqari, suyuqlikning uzluksiz va harakat tenglamalarini ham e`tiborga olish zarur.

Uzluksizlik tenglamasini kiritib, holatni sodda bo`lishi uchun suyuqlik oqimi  $Z$  o`qi bo`yicha yo`nalgan deb olamiz.  $dV=dx dy dz$  elementar hajmni ajratamiz. Ajratilgan hajm qirradi orqali  $dt$  vaqtda o`tgan suyuqlik massasi

$$dm_z' = \rho v_z dx dy dz \quad (1)$$

bu yerda  $\rho$  – zichlik,  $v_z$  –  $Z$  o`qi yo`nalishi bo`yicha tezlik.

Qarama-qarshi qirradan huddi shunday  $t$  vaqt ichida oqib o`tgan massa

$$dm_z'' = \left[ \rho v_z + \frac{d(\rho v_z)}{dz} dz \right] dx dy dt$$

Kirayotgan va chiqayotgan massaning har xil bo`lishi suyuqlik zichligining o`zgarishi bilan bog`liq. Qaralayotgan hajmdan chiqayotgan massa orttirmasi

$$dm_z = dm_z'' - dm_z' = \frac{d(\rho v_z)}{dz} dx dy dz dt$$

Xuddi shunday ikkita  $X$  va  $Y$  yo`nalishlar uchun massa orttirmasini olsak, u holda  $dV$  hajmdan oqib o`tgan orttirma massa quyidagi ko`rinishni oladi.

$$dm = \left( \frac{d}{dx} \rho v_x + \frac{d}{dy} \rho v_y + \frac{d}{dz} \rho v_z \right) dV dt \quad (2)$$

Bu kattalik suyuqlikning zichligi kamayishi hisobiga yuzaga kelgan massa o`zgarishiga teng, ya`ni

$$dm = - \frac{d\rho}{dt} dV dt \quad (3)$$

(2) va (3) ifodalar o`ng tomonlarini tenglashtirib, uzluksizlik tenglamasini olamiz.

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{d(\rho v_x)}{dx} + \frac{d(\rho v_y)}{dy} + \frac{d(\rho v_z)}{dz} = 0 \quad (4)$$

Agar suyuqlik siqilmaydigan do`lsa, u holda  $\rho = \text{Const}$  va

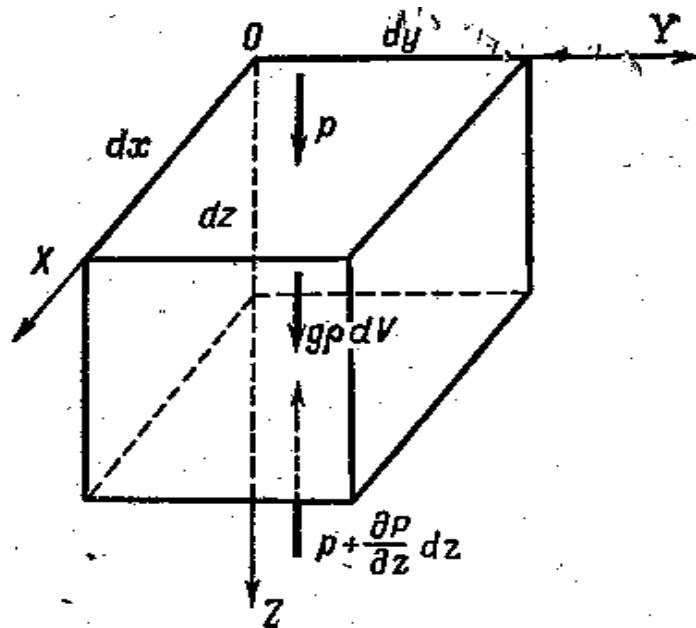
$$\frac{d(v_x)}{dx} + \frac{d(v_y)}{dy} + \frac{d(v_z)}{dz} = 0$$

yoki vektor ko`rinishda

$$\text{div} V = 0$$

Yopishqoq suyuqlik harakat tenglamasini quyidagi tasavvur bo`yicha hosil qilamiz. Avvalo,  $Z$  o`qi bo`yicha harakatlanayotgan suyuqlik oqimi uchun bir o`lchamli masalani qaraymiz. Suyuqlik oqimida ajratilgan

kubning  $dV$  elementar hajmiga 3 ta kuch ta'sir etadi: og'irlik kuchi  $g\rho dV$ , ishqalanish kuchi va gidrostatik bosim kuchi (6-rasm).



6-rasm.

Suyuqlik oqimida ichki ishqalanish kuchini topamiz. Suyuqlikning yassi qatlami  $Z$  o'q bo'yicha oqqanda,  $v_z$  tezlik  $Y$  o'qi bo'yicha o'zgaradi  $dV = dx dy dz$  hajmning  $dx dz$  qirrasiga qo'shni qatlamlarning ishqalanish kuchlari ta'sir etadi. Agar  $Y$  o'q bo'yicha tezlik oshsa,  $dV$  hajmning chap qirrasiga, suyuqlikning chap tomonida sekin harakatlanayotgan qatlamlari tomonidan tormozlovchi kuch ta'sir etadi. Bu kuch ichki ishqalanish uchun Nyuton formulasidan quyidagicha ifodalaniladi.

$$\Delta f dx dz = \eta \frac{d v_z}{dy} dx dz \quad (5)$$

$dV$  hajmning o'ng qirrasiga, suyuqlikning o'ng tomonida tez harakatlanayotgan qatlamlari tomonidan tezlashtiruvchi kuch ta'sir etadi:

$$\left( \Delta f + \frac{d \Delta f}{dy} \right) dx dz \quad (6)$$

Natijaviy kuch (4) va (5) ifodalarning farqiga teng bo'ladi va

$$\left( \Delta f + \frac{d \Delta f}{dy} \right) dx dz - \Delta f dx dz = \frac{d \Delta f}{dy} dx dy dz = \eta \frac{d^2 v_z}{dy^2} dV \quad (7)$$

ko'rinish hosil qiladi.

$v_z$  oqim tezlik o'zgarishi barcha koordinata o'qlari uchun umumiy holda

$$\eta \left( \frac{d^2}{dx^2} v_x + \frac{d^2}{dy^2} v_y + \frac{d^2}{dz^2} v_z \right) dV = \eta \nabla^2 v_x dV \quad (8)$$

ga teng bo'ladi.

Z o'qda gidrostatik bosim kuchining proyeksiyasini topamiz.  $dV$  hajm elementi yuqori qirrasiga  $P dx dy$ , quyi qirrasiga  $-\left(P + \frac{dP}{dz} dz\right) dx dy$  bosim kuchi ta'sir qiladi. Natijaviy bosim kuchi esa quyidagiga teng:

$$P dx dy - \left(P + \frac{dP}{dz} dz\right) dx dy = -\frac{dP}{dz} dV \quad (9)$$

Hajmning  $dV$  elementiga Z o'q proyeksiya bo'yicha ta'sir etayotgan barcha kuchlarning teng ta'sir etuvchisini, og'irlik kuchi  $g_z \rho dV$ , ni (8) va (9) ifodalarga qo'shib hosil qilamiz:

$$\left(\rho g_z - \frac{dP}{dz} + \eta \nabla^2 v_z\right) dV \quad (10)$$

Bu kuch Nyutonning ikkinchi qonuni bo'yicha elementar  $dV$  hajm massasining uning tezlanishi ko'paytmasiga teng, ya'ni

$$\rho \frac{dv_z}{dt} dV = \rho \left(\frac{dv_z}{dt} + \frac{dv_z}{dx} v_x + \frac{dv_z}{dy} v_y + \frac{dv_z}{dz} v_z\right) dV \quad (11)$$

U holda (10) va (11) ni tenglashtirib, quyidagini olamiz:

$$\rho \frac{dv_z}{dt} + \rho \left(\frac{dv_z}{dx} v_x + \frac{dv_z}{dy} v_y + \frac{dv_z}{dz} v_z\right) = \rho g_z - \frac{dP}{dz} + \eta \left(\frac{d^2 v_z}{dx^2} + \frac{d^2 v_z}{dy^2} + \frac{d^2 v_z}{dz^2}\right) \quad (12)$$

Yana xuddi shunday X, Y o'qlar uchun  $v_y$ ,  $v_x$  tezlik tashkil etuvchilar tenglamasini yozib, ***Nave-Stoksning differensial tenglamasini*** olamiz. Buni siqilmaydigan suyuqlikning ham laminar, ham turbulent oqimlari uchun qo'llash mumkin. Vektor ko'rinishda tenglama quyidagi ko'rinish oladi:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho g - \text{grad}P + \eta \nabla^2 v \quad (13)$$

Bu differensial tenglamani yechish uchun unga chegaraviy shartlar qo'yish zarur. Tenglamani yechish murakkab bo'lganligi uchun uni yechishda eksperimental usullardan foydalanish afzal.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

Ichki ishqalanish koeffitsiyenti normal sharoitda  $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$  bo'lgan vodorodning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini toping.

**Berilgan:**

$$\eta = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

$$i = 3$$

$$C_v = \frac{i}{2} R = \frac{3R}{2} = 12,5 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K}$$

$$K = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$K = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho C_v$$

Agar

$$\eta = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$K = \eta C_v$$

Hisoblaymiz:

$$K = \eta C_v = 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot 12,5 = 107,5 \cdot 10^{-6}$$

### 2-masala

Hajmi  $V=2 \text{ l}$  bo'lgan idishda  $N=4 \cdot 10^{22}$  ta ikki atomli gaz molekulari bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $K=0,014 \text{ Wt}/\text{m} \cdot \text{grad}$ . Gazning diffuziya koeffitsiyentini toping.

**Berilgan:**

$$V = 2 \text{ l} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$N = 4 \cdot 10^{22} \text{ ta}$$

$$K = 0,014 \text{ Wt}/\text{m} \cdot \text{grad}$$

$$i = 5$$

$$C_v = \frac{i}{2} R = 20,8 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K}$$

$$D = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$K = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho C_v$$

va gazlarning diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini yozib, yuqoridagi formulaga qo'yamiz:

$$D = \frac{1}{3} \nu \lambda$$

$$K = D \rho C_v$$

Bundan  $D$  ni topamiz:

$$D = \frac{K}{\rho C_v} = \frac{KRT}{P \mu C_v} = \frac{KRT}{nkT \mu C_v} = \frac{KRV}{Nk \mu C_v}$$

Hisoblaymiz:

$$D = \frac{KRV}{Nk \mu C_v} = \frac{0,014 \cdot 8,31 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{22} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 20,8} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

### 3-masala

100 K < T < 600 K harorat intervalida vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining haroratga bog'liqlik grafisini (har 100 K da) chizing.

**Berilgan:**

$$T_1 = 100 \text{ K}$$

$$T_2 = 200 \text{ K}$$

$$T_3 = 300 \text{ K}$$

$$T_4 = 400 \text{ K}$$

$$T_5 = 500 \text{ K}$$

$$T_6 = 600 \text{ K}$$

**Masalaning yechilishi:**

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini topish formulasini topamiz:

$$K = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho C_v$$

va  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $\nu$  qiymatlarini qo'yib,

$$K = A \sqrt{T}$$

ekanligini topamiz,  $A$  – bu yerda doimiy kattalik.

Hisoblaymiz:

$$K_1 = 10^{-7}$$

$$K_2 = 14 \cdot 10^{-6}$$

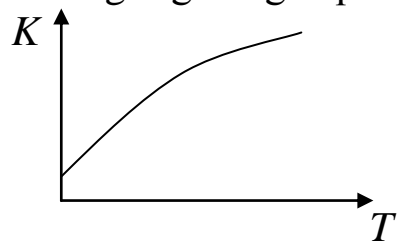
$$K_3 = 17,3 \cdot 10^{-6}$$

$$K_4 = 20 \cdot 10^{-6}$$

$$K_5 = 22,36 \cdot 10^{-6}$$

$$K_6 = 24,49 \cdot 10^{-6}$$

$K$  ning  $T$  ga bog'liqlik grafigini chizamiz:





## VI. BO'LIM

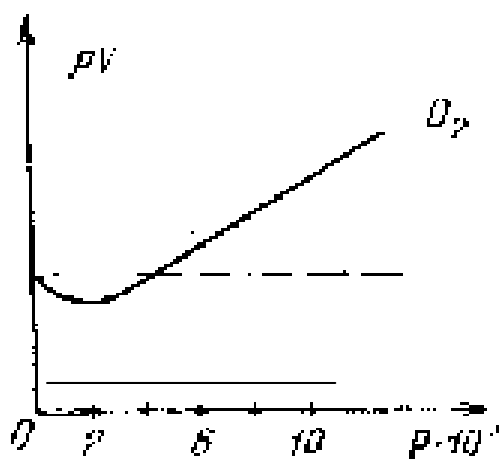
### REAL GAZLAR

#### *Real gazlarning ideal gaz qonunlariga bo'ysunmasligi*

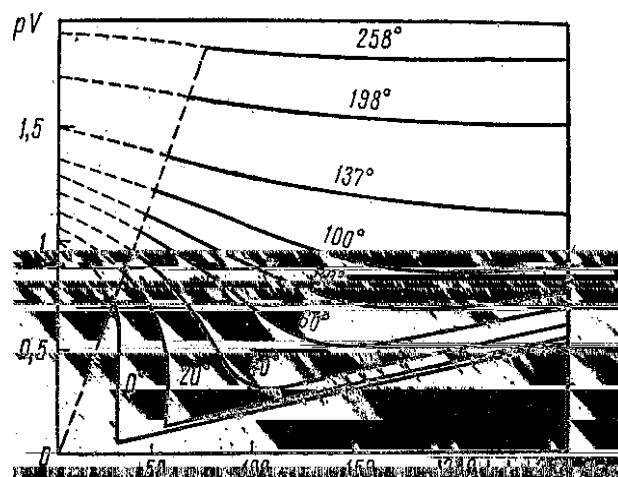
Ideal gaz qonunlari bilan biz yuqorida tanishib o'tgan edik. Ammo uning holatini ifodalovchi parametrlar ma'lum qiymatdan so'ng tajribada olingan natijalarga mos kelmaydi. Masalan, kislorod uchun o'rinli bo'lgan tajriba natijalari 1-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, bosim ortishi bilan  $pV$  – ko'paytma kamayib boradi va bosim taxminan  $2 \cdot 10^7$  Pa ga yetganda eng kichik qiymatga erishib, bosim ortishi bilan yana orta boradi. Bosim taxminan  $4 \cdot 10^7$  Pa bo'lganda tajriba natijasi ideal gaz uchun o'rinli bo'lgan  $pV$  ga tenglashadi. Bosimni yanada orttirsak,  $pV$  ko'paytma ideal gaz uchun o'rinli bo'lgan to'g'ri chiziqdan uzoqlasha boshlaydi, ya'ni tajriba natijasi bilan nazariy hisoblangan  $pV$  ko'paytma orasidagi farq ortib boradi.

Bunga sabab nima? Bunga sabab ideal gaz deb qaralgan gazlarda gaz molekularining o'lchamligini va ular orasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olmaganlikdadir.

Ko'pchilik gazlar molekulasining radiusi  $r=10^{-8}$  sm, demak, uning hajmi  $v_m = \frac{4}{3}\pi r^3 \approx 4 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^3$ .



1-rasm. Kislorod izotermasi.



1 a-rasm. Karbonat anhidrid gazi izotermalari.

Normal sharoitda  $1 \text{ sm}^3$  hajmda taxminan  $2,70 \cdot 10^{19}$  ta molekula bo'lib, bu molekularning umumiy hajmi  $2,7 \cdot 10^{19} \times 4 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^3 \approx 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ sm}^3$  bo'ladi. Bu hajm gaz egallagan umumiy hajm  $1 \text{ sm}^3$  ning o'n mingdan bir qismini tashkil qiladi. Demak, gaz bosimi bir necha ming

paskalga yetganda Boyle-Mariott qonunidan chetlanishi yetarli darajada sezilarli bo'ladi.

Shunday qilib, gaz bosimini har qancha oshirmaylik, gazning egallagan hajmi gaz molekullari shaxsiy hajmlari yig'indisidan kichik bo'la olmaydi, aniqrog'i gaz molekullari shaxsiy hajmlari yig'indisidan katta bo'ladi, chunki molekullar orasida o'zaro tortishish kuchidan tashqari o'zaro itarishish kuchi ham mavjuddir.

### *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 molekullar 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 molekullar orasidagi tortishish kuchi manfiy, molekullar 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

$$F_2 = \frac{A_2}{r^{x_2}} \quad (2)$$

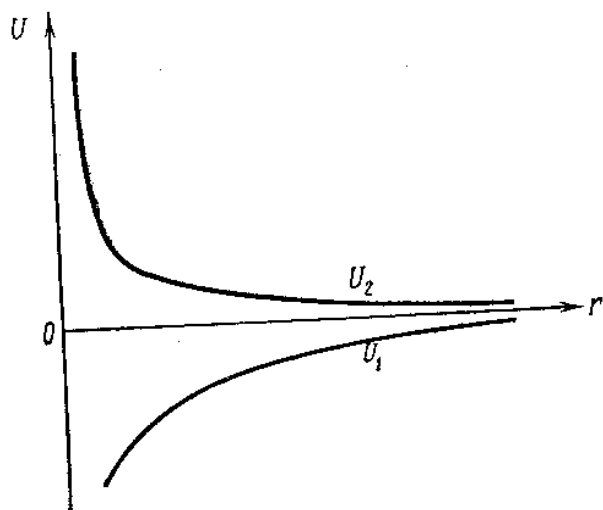
Kulon qonuniga asosan xususiy hollarda nuqtaviy zaryadlar  $X_1=X_2=2$  bo'ladi.

(1) va (2) ifodalarni integrallab, potensial energiya qiymatlarini hosil qilamiz:

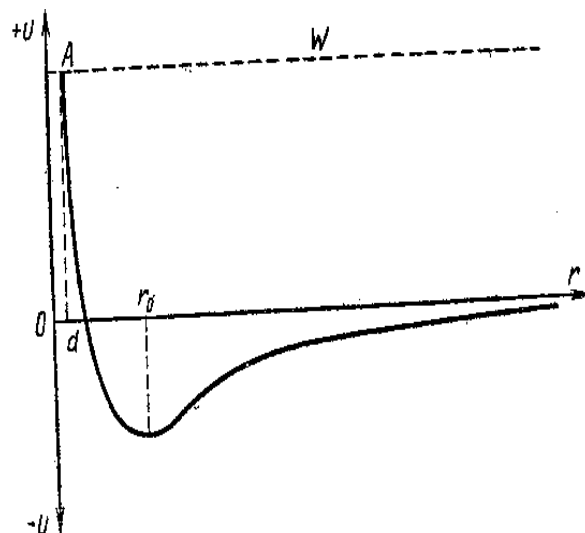
$$U_1 = -\frac{A^1}{r^{x_1-1}}; \quad U_2 = \frac{A^{11}}{r^{x_2-1}} \quad (3)$$

Masofa o'zgarishi bilan molekular 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 molekular 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  $U_1$  energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu yig'indi (3-rasm) da tasvirlangan.



2-rasm. Molekular tortishish va itarishish energiyalarining ular orasidagi masofaga bog'liligi.



3-rasm. Molekular 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 molekular orasidagi itarishish kuchlari juda tez oshadi. Bunda potensial energiya egriligi musbat oblast tomonga o'tib, yuqoriga ko'tariladi. Musbat potensial energiya oshishi yaqinlashishgacha bo'lgan ikki molekuladagi kinetik energiya hisobiga bo'ladi.

Molekular katta mumkin bo'lgan 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 molekularining to'qnashish mexanizmi ideal gazlardagidek to'g'ri elastik to'qnashish emas, ya'ni real gaz molekulari masofada o'zaro ta'sirlashadi.

## *Van-der-Vaals tenglamasi*

Real gazlar uchun holat tenglamalarini ifodalashda holat parametrlari orasidagi munosabatni ko'rsatuvchi va ideal gazlar uchun o'rinli bo'lgan Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan foydalanish mumkin emas.

Bunda **birinchidan**, gaz molekulari orasida o'zaro itarishish kuchi borligini, ya'ni gaz molekulasining xususiy hajmini hisobga olish kerak. Agar bir mol gaz massasidagi molekularning xususiy hajmlari yig'indisini "b" bilan, gaz turgan idish hajmini  $V_\mu$  bilan belgilasak, gaz molekulari harakatlanishi mumkin bo'lgan hajm  $V_\mu - b$  bo'ladi.

**Ikkinchidan**, gaz molekulari orasidagi o'zaro tortishish kuchini hisobga olish kerak. Bunda gaz molekularining idish devoriga berayotgan bosimi kamayadi, boshqacha aytganda gaz molekulari orasidagi o'zaro tortishish kuchi natijasida real gaz egallagan hajm ideal gaz egallagan hajmga nisbatan kichik bo'ladi. Natijada gaz bosimi  $p$  ideal gaz bosimi  $p_i$  ga katta bo'lib, real gaz bosimi  $p + p_i$  bo'ladi.

Yuqorida aytilgan fikrlar asosida bir mol gaz massasi uchun ideal gaz holat tenglamasi bo'lgan va Klapeyron-Mendeleyev tenglamasi deb ataluvchi

$$pV_\mu = RT \quad (1)$$

tenglamadan real gaz tenglamasi

$$(p + p_i)(V_\mu - b) = RT \quad (2)$$

ga o'tamiz.

$$P_i = Cn^2$$

bu yerda  $C$  – o'zgarmas kattalik

$$P_i = c \frac{N^2}{V^2} = \frac{a}{V^2} \quad (2^*)$$

(2\*) ni hisobga olsak, u holda (2) ni quyidagicha yozamiz.

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

Bu tenglama **Van-der-Vaals tenglamasi** deb yuritiladi va u real gaz uchun o'rinli bo'lgan tenglamalardan biridir.

Istalgan gaz massasi uchun Van-der-Vaals tenglamasini yozamiz:

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

Uni Van-der-Vaals 1873-yilda nazariy ravishda olgan. (2a) tenglamaning nazariy keltirib chiqarilishi

$$b \ll V, \frac{a}{V^2} \ll P \quad (3)$$

shartlar bajarilganidagina to'g'ridir. Bundan tashqari (2a) ni keltirib chiqarishda gaz molekulalarining sferik simmetrik bo'lishi nazarda tutiladi, chunki u qattiq elastik sharlar modeliga taalluqlidir. Haqiqatda hatto zichmas gazlar uchun ham a va b kattaliklarning haroratga bog'liq bo'lishi ana shu sababdandir.

Zich gazlar uchun Van-der-Vaals tenglamasi miqdoriy munosabat sifatida yaramaydi. Ammo u bu gazlarning xarakterini ham sifat jihatdan to'g'ri ifodalaydi. Shuning uchun moddaning sifat harakterini o'rganish uchun kelgusida biz Van-der-Vaals tenglamasini bosim va haroratning butun o'zgarish sohasida qo'llaymiz. Lekin bu holda unga *taqribiy yarim empirik tenglama* sifatida qarash kerak. Van-der-Vaals tenglamasiga aniq bo'ysunadigan gazlar ***Van-der-Vaals gazlari*** deyiladi. Ravshanki, ular ideallashtirilgan gazlardir.

Van-der-Vaals tenglamasini gaz mollari ixtiyoriy soni  $\nu$  uchun yozish qiyin emas. Agar gaz  $V$  hajmni egallasa, u holda molyar hajm  $V/\nu$  bo'ladi. (2a) tenglamada  $V$  ni  $V/\nu$  kattalik bilan almashtiramiz. Natijada:

$$\left( p + \frac{a\nu^2}{V^2} \right) \left( \frac{V}{\nu} - b \right) = RT \quad (4)$$

yoki

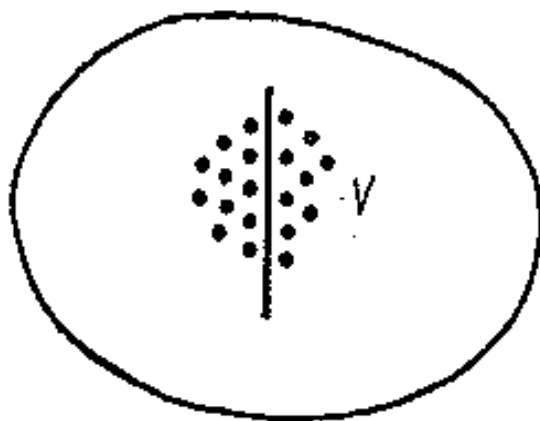
$$\left( p + \frac{a\nu^2}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT \quad (5)$$

### ***Gaz hajmiga tuzatmani hisoblash***

Molekula o'zining haqiqiy hajmi  $V_0$  va  $b$  tuzatma orasidagi bog'lanishni quyidagi yo'l bilan topish mumkin. Ikkita molekula bir-biriga ular radiuslari yig'indisidan kichik masofada yaqinlashishi mumkin emas. Bunday holda gaz egallagan umumiy hajmdan sfera hajmiga proporsional bo'lgan qandaydir  $b$  qismini yo'qotish kerak.

Sfera radiusi ta'sirlashayotgan ikki molekula radiuslari yig'indisi va ta'sirlashayotgan molekulalar soniga teng (4-rasm).

$$b = kn \frac{4}{3} \pi (r_1 + r_2)^3 = kn \frac{4}{3} \pi (2r)^3 = 8knV \quad (1)$$



4-rasm. Molekulyar bosim kattaligini chiqarish uchun.

bu yerda gazning bir jinsli tarkibi uchun  $r_1=r_2=r$ ,  $V_0$ -bitta molekula hajmi.

Koeffitsient  $k = \frac{1}{2}$  deb olamiz, chunki ko'pchilik hollarda bir vaqtning o'zida bitta molekula ikkitadan ortiq molekula bilan to'qnashmaydi.

Uch yoki to'rt molekulaning 1 vaqtda o'zaro to'qnashish kam holdir. Shunga asosan (1) ifodani ko'rinishi

$$b=4nV_0 \text{ bo'ladi.} \quad (2)$$

Ichki bosim  $p_i$  gaz molekulalari orasidagi o'zaro tortishish kuchiga bog'liq ekanligini yuqorida aytgan edik. O'zaro tortishish kuchi gaz molekulalari orasidagi masofa o'zgarishi bilan ma'lum qonuniyat asosida o'zgaradi. Agar gaz zichligi yetarli darajada katta bo'lsa, yonma-yon turgan ikki kichik hajmdagi har bir molekula boshqa hajmdagi molekulalardan bir xil uzoqlikda turadi, deb qarash mumkin. Demak, biron hajmda turgan har bir molekula ikkinchi hajmda turgan har bir molekula bilan bir xil kuch bilan tortishishadi, deb qaralsa bo'ladi.

Gazlardagi ichki bosim idish devorlariga yaqin qatlamdagi molekulalarni unga yaqin qo'shni qatlamdagi molekulalar tomonidan tortishi hisobiga vujudga keladi. Bunday tortishish kuchi qaralayotgan qo'shni ikki qatlamning har biridagi molekulalar soniga, demak, gaz zichligiga mutanosibdir, ya'ni  $p_i \sim \rho^2$  zichlik hajmga teskari mutanosib ekanligidan

$$p_i \sim \rho^2 \sim \frac{1}{V_\mu^2} \quad \text{yoki} \quad p_i = \frac{a}{V_\mu^2}$$

$a$  – o'zgarmas kattalik, har xil gaz uchun har xil qiymatga ega bo'lib, uning kattaligi gaz molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir intensivligiga bog'liqdir.

$p_i$  va  $b$  larning qiymatlarini (2) formulaga qo'ysak,

$$\left(p + \frac{a}{V_\mu^2}\right)(V_\mu - b) = RT \quad (3)$$

bo'ladi. (3) tenglama bir mol gaz uchun o'rinli bo'lib,  $V_\mu$  **hajm molyar hajm** deb olinadi. Bu ifoda molyar massasi  $\mu$  bo'lgan, istalgan miqdordagi gaz massasi uchun quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\left[p + \left(\frac{m}{\mu}\right)^2 \frac{a}{V^2}\right] \left[V - \frac{m}{\mu}b\right] = \frac{m}{\mu}RT \quad (4)$$

Bu tenglamada V-“m” massali gaz egallagan hajmdir.

“a” va “b” kattaliklar gaz massasiga bog'liq bo'lib, har xil gazlar uchun har xildir. Bularga **Van-der-Vaals tuzatmalari** deyiladi.

Quyidagi jadvalda ayrim gazlarning bir kilomoliga to'g'ri keluvchi “a” va “b” kattaliklari keltirilgan.

<b>Modda</b>	$a, \frac{N / m^4}{\text{kmol}}$	$b, \frac{m^3}{\text{kmol}}$
Geliy	$0,035 \cdot 10^2$	$23,9 \cdot 10^{-3}$
Vodorod	$0,248 \cdot 10^2$	$26,7 \cdot 10^{-3}$
Azot	$1,37 \cdot 10^2$	$38,6 \cdot 10^{-3}$
Kislorod	$1,39 \cdot 10^2$	$31,6 \cdot 10^{-3}$
Karbonat angidrid	$3,66 \cdot 10^2$	$42,8 \cdot 10^{-3}$
Suv bug'i	$5,53 \cdot 10^2$	$30,4 \cdot 10^{-3}$

(3) ko'rinishdagi Van-der-Vaals tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$V_\mu^3 + \left(b - \frac{RT}{p}\right)V_\mu^2 + \frac{a}{p}V_\mu - \frac{ab}{p} = 0 \quad (5)$$

Bu tenglama bosim va haroratning berilgan qiymatida hajmga nisbatan yechilsa, hajm uchta qiymatga ega bo'ladi. Bu uchta qiymatning hammasi haqiqiy son bo'ladi uchtadan bittasi haqiqiy bo'lib, ikkitasi mavhum bo'ladi. Hajmning bu mavhum qiymatlari fizik ma'noga ega bo'lmaydi, shuning uchun bu qiymatlar bizni qiziqtirmaydi.

### **Real gazlar uchun nazariy va eksperimental izotermalar**

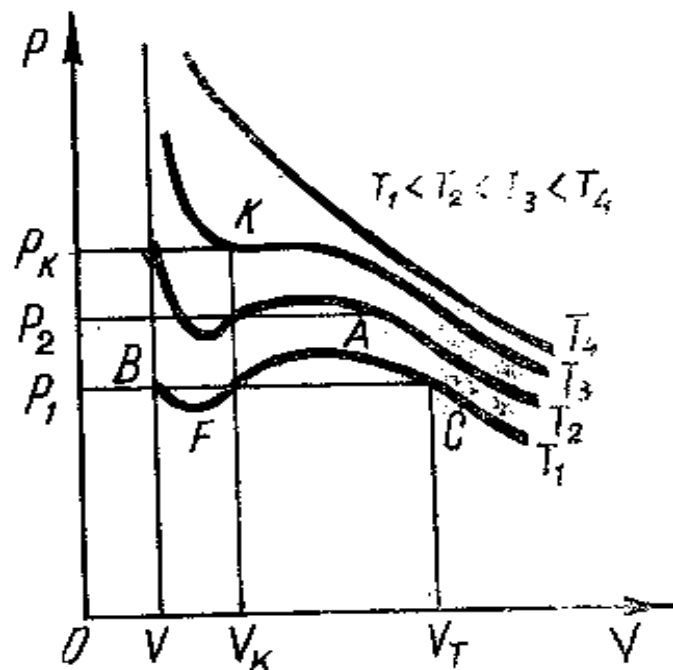
Van-der-Vaals tenglamasida haroratni o'zgarmas deb hisoblasak va bosimga har xil qiymatlar berib,

$$V_\mu^3 + \left(b - \frac{RT}{p}\right)V_\mu^2 + \frac{a}{p}V_\mu - \frac{ab}{p} = 0$$

tenglamani hajmga nisbatan yechib, bosim va hajm o'rtasidagi munosabatni grafik ravishda ifodalasak, bu grafik real gazlar uchun

nazariy izoterma hisoblanadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, nazariy izoterma qaysi harorat uchun chizilayotganiga bog'liqdir. Haroratning har xil qiymatlari uchun chizilgan nazariy izotermalar 5-rasmda keltirilgan.

Grafikdan ko'rinadiki,  $T_1$  haroratga to'g'ri kelgan izotermada  $p_1$  bosimga uchta hajm, xuddi shuningdek  $T_2$  ga mos keluvchi izotermada ham  $p_2$  bosimga uchta hajm to'g'ri keladi. Bu izotermalarda S simon (CAFB) qismi bo'lib,  $T_3$  haroratli izotermada Ssimon qism o'rnida "K" burilish nuqtasini hosil qiladi.  $T_4$  haroratga mos keluvchi izoterma Mendeleev-Klapeyron tenglamasi asosida olingan ideal gaz izotermasiga o'xshaydi. Hisoblashlarda  $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$  edi. Demak,  $T_3$  va undan yuqori haroratlarga mos keluvchi Van-der-Vaals izotermalari ideal gaz izotermalarini eslatadi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki,  $T_3$  dan yuqori haroratlarda real gazni ideal gaz deb qarasa bo'lar ekan. S simon qism o'rniga burilish nuqtasiga ega bo'lgan  $T_3$  haroratga mos keluvchi izotermanni **kritik izoterma**, kritik izoterma hosil bo'layotgan haroratni **kritik harorat** deyiladi. Burilish nuqtasi "K" ning koordinatalari  $p_k$ -**kritik bosim**,  $V_k$  - **kritik hajm** deyiladi. Shunday qilib, real gaz harorati kritik haroratga teng va undan yuqori bo'lsa, bu izotermalarda bosimning har xil qiymatiga hajmning aniq bir qiymati to'g'ri keladi.



5-rasm. Harorat qiymatlari uchun nazariy izotermalar.

Endi kritik izotermadan past haroratga mos keluvchi izotermalarni o'rganaylik.



Hajm o'zining boshlang'ich qiymatiga nisbatan asta-sekin kamaytirilib borilsa, bosim ham ortib boradi, ya'ni gaz qonunlari bajariladi. Bu hol izotermada C nuqttagacha bo'lgan kesma bilan ko'rsatilgan. Agar hajm A nuqta koordinatasiga teng bo'lgan qiymatidan yanada kamaytirilsa, bosim ortishi o'rniga keskin kamayadi, bu holat izotermada AF kesma bilan berilgan. Hajmni F nuqta koordinatasiga mos keluvchi qiymatidan yanada kamaytirsak, bosimning ortishi kuzatiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, bosimning bu ortishi haddan tashqari keskin bo'ladi. Yuqorida aytilgan fikrlar Van-der-Vaals tenglamasi asosida olingan nazariy izotermalarga asoslangandir. Ammo, eksperiment natijalari shuni ko'rsatadiki, nazariy izotermadagi S simon CAFB o'rniga hajmni ifodalovchi o'qqa parallel bo'lgan CB kesma paydo bo'ladi. Harorat kritik qiymatga qancha yaqin ( $T_k > T$ ) bo'lsa, izotermadagi S simon qism kengligi, eksperimental izotermada esa CB to'g'ri chizikli kesma uzunligi kamayib boradi va nihoyat kritik izotermada bu kesma o'rniga burilish nuqtasi "K" paydo bo'ladi. Eksperimental izotermada gaz hajmi kengayib borgan sari bosim ham ortib boradi va bosim bilan hajm orasidagi o'zgarishni ifodalovchi qonuniyat ideal gaz qonuniyatiga sifat jihatdan o'xshaydi, 5-rasmdan ko'rinadiki, gaz hajmi to'yingan bug' hajmi ( $V_{t,b}$ ) ga (C nuqtaning koordinatasi) yetgandan keyin ham gaz hajmini suyuqlik hajmi ( $V_c$ ) ga yetguncha ("B" nuqtaning koordinatasi) kamaytirsak, bosim o'zgarmay qoladi, bosimning bu qiymatiga **to'yingan bug'ning elastikligi** deyiladi. Gaz hajmi  $V_{t,b}$  bilan  $V_c$  oralig'ida kamayganda bosimni o'zgarmaydi qolishiga sabab bu vaqtda gazda to'yinish, ya'ni bug' bilan uning suyuqligi orasida **dinamik muvozanat** hosil bo'ladi. Bu holatga to'g'ri kelgan hajmni **to'yingan bug' hajmi  $V_{T,b}$**  deb yuritamiz. Berilgan haroratda hajmni  $V_{T,b}$  ga nisbatan kamaytirsak, to'yingan bug'ning bir qismi suyuqlikka aylanadi. Hajm  $V_c$  ga qancha yaqin bo'lsa, berilgan gaz massasining shuncha ko'p qismi kondensatsiyalanib, suyuqlikka aylanganda va nihoyat gaz to'la suyuqlikka aylanganda uning hajmi  $V_c$  ga teng bo'ladi. Shunday qilib, "B" nuqtaning koordinatalari gazning to'la suyuqlikka o'tish parametrlari bo'ladi. Demak, gaz to'yingan holatda bo'lishi uchun yoki suyuqlikka aylanishi uchun holat parametrlari-bosim, hajm, harorat aniq bir qiymatga ega bo'lishi kerak. Grafikdan ko'rinadiki, (masalan,  $T_1$  ga to'g'ri keluvchi izotermadan) gaz harorati  $T_1$ , bosimi  $p_1$  bo'lsa-yu, gaz hajmi  $V_{T,b}$  dan kichik va  $V_c$  dan katta bo'lsa, modda ikki xil agregat holatda, to'yingan bug' va suyuqlik holatda bo'ladi.

Hajmi  $V_c$  ga nisbatan ozgina kamaytirish bosimni keskin juda katta ortishiga olib keladi. Bu esa tajribaga mos kelib, suyuqliklarning gazlarga nisbatan juda ham kam siqiluvchan ekanligini ko'rsatadi.

Agar harorat ortsa ( $T_2 > T_1$ ) to'yingan bug' hajmi kamayadi, to'yingan bug' bosimi ortadi va  $V_{T,b}$  hajm  $V_c$  ga yaqinlashib boradi.

Bu shuni ko'rsatadiki, harorat qancha yuqori bo'lsa, to'yingan bug' zichligi shu haroratdagi suyuqlik zichligiga yaqinlashib boradi va harorat kritik qiymatga, hajm kritik hajmga, bosim kritik bosimga yetganda to'yingan bug' va suyuqlik zichligi bir xil, ya'ni teng bo'lib qoladi. Bu holatni **kritik holat** deyiladi.

Shunday qilib, real gazlar uchun nazariy va eksperimental izotermalarni solishtirish kritik haroratdan past haroratlarda nazariy izotermadagi S-simon qismi o'rniga, eksperimental izotermada gorizontaal qism paydo bo'lishini ko'rsatadi. Kritik haroratdan yuqori haroratlarda nazariy va eksperimental izotermalar sifat jihatdan bir xil bo'ladi.

Demak, Van-der-Vaals tenglamasi real gaz uchun harorat va bosimning keng intervalida **holat tenglama bo'la olmaydi** va faqat real gazlarni siqish bilan suyuqlikka aylantirish mumkinligini, kritik holat mavjudligini ko'rsatadi.

Van-der-Vaals izotermasidagi S-simon qismni olish mumkinmi?

Agar siqilishi kerak bo'lgan gazni unga bo'lgan boshqa narsalardan – changdan tozalasak, hajm kamayib borib, to'yingan bug' hajmiga yetgandan keyin ham kondensatsiya boshlanmay, hajm kamaysa, bosim orta boradi. Shunday qilib, tajribada Van-der-Vaals izotermasidagi CA qismni olish mumkin. Bundan quyidagi fizik ma'no chiqadi: real gaz nazariy izotermasidagi CA qism **o'ta to'yingan bug'** holatiga to'g'ri keladi. Bu holat juda ham beqaror holat bo'lib, bosim spontan kamayadi va kondensatsiyalanish haddan tashqari intensiv bo'ladi.

Xuddi shuningdek, siqilgan suyuqlik hajmini izotermik kengaytirsak, hajm to'yingan bug' hosil bo'lishi kerak bo'lgan hajmdan ortsa ham, to'yingan bug' hosil bo'lmas ekan. Bu holatda turgan suyuqlikni **o'ta qizigan** yoki **cho'zilgan suyuqlik** deb yuritiladi. Eksperimental olingan suyuqlikning bu holati nazariy izotermadagi BF qismga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, Van-der-Vaals tenglamasi beqaror holat-o'ta to'yingan bug' va o'ta qizigan suyuqlik holat mavjudligini bilishga imkon bersa-da, moddani bir vaqtda ham suyuqlik, ham bug' holatda bo'lishligini aytib bera olmaydi.

## ***Kritik holat. Kritik parametrlarni hisoblash***

Oldingi paragrafda ko'rganimizdek, har bir modda uchun shunday xarakterli harorat qiymati borki, bu haroratda moddaning gaz va suyuq holati o'rtasidagi farq yo'qoladi. Moddaning ana shu holati kritik holat va bu holatga mos keluvchi harorat kritik harorat deb yuritiladi. Kritik harorat tushunchasi birinchi marta Mendeleev tomonidan kiritilgan bo'lib, Mendeleev bu haroratni absolyut qaytish harorati deb atadi.

Kritik harorat to'g'risidagi shunday fikrga keyinchalik rus fizigi A.G.Stoletov ham keldi.

Endryus o'tkazgan tajribalar Mendeleev fikri to'g'ri ekanligini isbotladi. Endryus gazsimon va suyuqliksimon fazalar uzluksiz ekanini, ya'ni gaz holatdan suyuq holatga, aksincha suyuq holatdan gaz holatga o'tish mumkinligini ko'rsatdi.

Bir qancha moddalarning kritik parametrlari ( $p_k$ ,  $V_k$ ,  $T_k$ ) rus fiziklari M.P.Avenarius, A.I.Nadejdin, V.I.Zaonchenskiy tomonlaridan birinchi marta aniqlandi. 1885 yilda A.I.Nadejdin birinchi marta suvning kritik haroratini aniqladi ( $T_k=647$  K).

Kritik haroratni aniqlash usullaridan birini qarab chiqaylik.

Faraz qilaylik, havosi so'rib olingan shisha naycha ichiga uni to'ldirmasdan ma'lum miqdorda suyuqlik qo'yilib, uning uchi kavsharlangan bo'lsin. Shu naychani pechkaga o'rnatib uni qizdira boshlasak, suyuqlik ustidagi hajmda har bir haroratga mos ravishda to'yingan bug' hosil bo'ladi.

Idishning suyuqlik egallagan qismi bilan to'yingan bug' egallagan qismini suyuqlik sirtida hosil bo'lgan menisk ajratib turadi. Bu menisk holatiga ikki omil ta'sir qiladi.

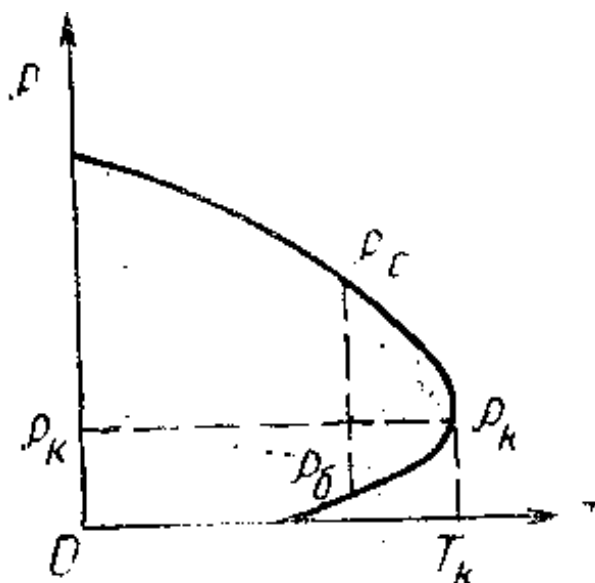
Birinchi, suyuqlik harorati ortishi bilan suyuqlik hajmi kengayganidan menisk ko'tarilishi kerak.

Ikkinchi, suyuqlik bug'langanidan uning hajmi kamayib menisk pasayishi kerak. Bu ikki omildan qaysi biri ustun kelishi naychaga quyilgan suyuqlik hajmiga bog'liqdir. Agar suyuqlik ko'p quyilgan bo'lsa, birinchi omil (suyuqlik kengayishi) asosiy rol o'ynab, harorat ortishi bilan menisk ko'tarila boradi va harorat kritik haroratga yetmasdan suyuqlik naychani to'la to'ldiradi. Agar ikkinchi omil (bug'lanish) asosiy rol o'ynasa, bug'lanish natijasida suyuqlik hajmi kamayib boradi va harorat kritik haroratga yetmasdan suyuqlik to'la ravishda bug'ga aylanadi. Faqat suyuqlikning hajmi aniq qiymatga ega bo'lgandagina menisk kritik haroratgacha o'zgarmas bo'lib, yo'qolmay turadi.

Harorat ortib borgan sari to'yingan bug' bosimi orta borib, kritik harorat  $T_k$  da maksimum qiymatga yetadi. Bosimning bu qiymatini kritik bosim  $p_k$  deb ataymiz. Harorat  $T_k$  ga bosim  $p_k$  ga yetganda suyuqlik zichligi to'yingan bug' zichligiga teng bo'lib qoladi va kuzatilayotgan menisk yo'qoladi.

Uzoq qizdirish natijasida menisk holatini yuqorida aytilgandek kuzatish orqali moddalarning kritik haroratini aniqlash mumkin.

Tajribada aytilgan naychaga kritik hajmga mos bo'lgan suyuqlik quyib uning haroratini kritik haroratgacha qizdirganimizda suyuqlik va uning to'yingan bug'i zichliklarini haroratga bog'liqligi 6-rasmda keltirilgan.



6-rasm. Suyuqlik va uning to'yingan bug'i zichliklarining haroratga bog'liqligi.

Rasmdan ko'rinadiki, harorat ortishi bilan suyuqlik zichligi kamayib boradi, to'yingan bug' zichligi esa ortib boradi va kritik haroratga tenglashadi. Grafikdan yana shu narsa seziladiki, suyuqlik zichligining o'zgarishi – kamayishi  $\left(\frac{\Delta\rho_c}{\Delta T}\right)$  to'yingan bug' zichligining o'zgarishi – ortishi  $\left(\frac{\Delta\rho}{\Delta T}\right)$  dan absolyut qiymat jihatidan katta bo'lib, kritik haroratga yaqinlashgan sari  $\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$  qiymati suyuqlik uchun ham, bug' uchun ham orta boshlaydi.

Moddaning kritik holatiga mos keluvchi kritik zichlik  $p_k$  suyuqlikning xona harakatidagi zichligining taxminan uchdan birini tashkil qiladi. Van-der-Vaals tenglamasidan suyuqlikning kritik hajmi naycha

to'la hajmining taxminan uchdan bir qismini tashkil qilishligini ham ko'rsatish mumkin.

Haqiqatan ham Van-der-Vaals tenglamalaridagi o'zgaruvchilarning kattaliklar "a" va "b" orqali kritik parametrlarni hisoblash mumkin.

Van-der-Vaals tenglamasi hajmga nisbatan uchinchi darajali tenglamadir. Shuning uchun bu tenglamani

$$(V-V_1)(V-V_2)(V-V_3)=0 \quad (6)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin.  $V_1, V_2, V_3$  tenglamaning uchta ildizidir. Kritik haroratda  $V_1=V_2=V_3$  demak,  $(V-V_k)^3=0$  yoki

$$V^3-3V^2V_k+3VV_k^2+V_k^3=0. \quad (7)$$

(5) tenglamani kritik izoterma uchun yozsak,

$$V^3 - \left( b + \frac{RT_k}{p_k} \right) V^2 + \frac{a}{p_k} V + \frac{ab}{p_k} = 0 \quad (8)$$

(7) va (8) tenglamalarni taqqoslasak  $V, V^2, V^3$  hajmlar oldidagi koeffitsientlar quyidagicha ifodalanadi:

$$3V_k = b + \frac{RT_k}{p_k}; \quad 3V_k^2 = \frac{a}{p_k}; \quad V_k^3 = \frac{ab}{p_k}. \quad (9)$$

Bu munosabatlardan foydalanib

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}; \quad V_k = 3b; \quad p_k = \frac{a}{27Rb^2} \quad (10)$$

yoki

$$a = 3V_k^3 p_k; \quad b = \frac{V_k}{3}; \quad R = \frac{8}{3} \frac{V_k p_k}{T_k} \quad (11)$$

ekanini ko'rsatish mumkin.

Shunday qilib, Van-der-Vaals tenglamalaridagi kattaliklar "a" va "b" aniq bo'lsa, kritik parametrlarni hisoblash mumkin.

Moddalarning kritik holatini sistematik chuqur o'rganishlar shuni ko'rsatadiki, suyuqlik va gaz chegarasida turuvchi menisk, harorat kritik haroratga bir oz yetmasdanoq yo'qolar ekan, boshqacha aytganda, menisk yo'qolganidan keyin ham modda bir oz vaqt ikki fazali holatda bo'ladi. Bu hodisaning sababi shundaki, kritik holatda moddalar zichligi fluktuatsiyasi juda kuchli bo'ladi, ya'ni zichlikni o'rtacha qiymatidan chetlanishi juda katta bo'ladi. Natijada opalestsenziya, ya'ni yorug'likning kuchli sochilish hodisasi kuzatiladi.

Moddalarda kritik holat mavjudligi ochilgunga qadar gazlarni siqish yo'li bilan suyuqlikka aylantirish ko'p hollarda natija bermaydi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, agar gaz harorati uning kritik haroratidan past bo'lsagina uni siqish yo'li bilan suyuqlikka aylantirish mumkin. Shunday qilib, gazni siqish yo'li bilan suyultirish uchun uni  $T < T_k$  haroratgacha sovitish kerak.

## Real gazlarning ichki energiyasi

1. Ideal gaz molekullari o'zaro ta'sirlashmaganligi uchun ideal gaz potensial energiyaga ega bo'lmaydi. Shuning uchun ideal gazning ichki energiyasi molekullar ilgariylanma va aylanma harakati kinetik energiyalari yig'indisidan iborat va gaz haroratiga bog'liq.

Real gazlarda molekullar orasidagi o'zaro ta'sir e'tiborga olingani bois, gazning ichki energiyasi uning molekullari issiqlik harakati kinetik energiyasi bilan o'zaro ta'sir potensial energiyasi yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$U = E_k + E_p$$

Kinetik energiya T harorat orqali aniqlanilib, V hajmga bog'liq bo'lmaydi. Agar T=Const bo'lsa,  $E_k = \text{Const}$  bo'ladi.

Potensial energiya faqat o'zaro ta'sirga bog'liq va u gaz hajmi o'zgarishi bilan o'zgaradi. Potensial energiyani makroskopik ravishda hisoblab topish mumkin, chunki molekullararo tortishish kuchlari-gaz sirt qatlamining qolgan massasiga ta'sir qiluvchi

$$p_i = \frac{a}{V^2}$$

**molekulyar bosimni** keltirib chiqaradi.

Molekullararo Van-der-Vaals kuchlari bilan bog'liq bo'lgan molekullarning o'zaro ta'sir potensial energiyasini e'tiborga olsak

$$U = \int p' dV$$

Agar p' qiymatini o'rniga qo'ysak

$$U = \int \frac{adV}{V^2} = -\frac{a}{V} + \text{Const}$$

yoki

$$\int_{V_1}^V P_i dV = \int_{V_1}^V \frac{a}{V^2} \cdot dV = -\frac{a}{V} + \frac{a}{V_1} = -\frac{a}{V} + \text{Const}$$

2. Agar bir jinsli moddaning (gaz) holat tenglamasi berilgan bo'lsa, unda umumiy termodinamik usullar yordamida harorat o'zgarmas saqlanganda uning ichki energiyasini V hajmining funksiyasi deb, topish mumkin. Bu usulni Van-der-Vaals gazlari uchun qo'llaymiz.

$$\left( \frac{dU}{dV} \right)_T = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \quad (1)$$

Van-der-Vaals tenglamasidan

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

bunda

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \frac{a}{V^2} \quad (3)$$

Izoterma bo'ylab integrallash yordamida quyidagini olamiz

$$U = -\frac{a}{V} + f(T) \quad (4)$$

bu yerda  $f(T)$  – harorat  $T$  ga bog'liq bo'lgan integrallash doimiysi. Uni o'zgarish hajmdagi gazning issiqlik sig'imi  $C_V$  orqali ifodalash mumkin. (4) ga asosan

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{df}{dT} \quad (5)$$

Bundan Van-der-Vaals gazining issiqlik sig'imi  $C_V$  faqat haroratga bog'liqligi kelib chiqadi. (5) asosan

$f(T) = \int C_V(T) dT$  ni olamiz va (4) ning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$U = \int C_V(T) dT - \frac{a}{V} \quad (6)$$

Agar  $C_V$  ning  $T$  ga bog'liqligini e'tiborga olmasak, u holda

$$U = C_V \cdot T - \frac{a}{V} \quad (7)$$

### ***Real gazlarning kengayishi***

Real gazlarning kengayishida bajarilgan ish xuddi ideal gaz kengayishida bajarilgan ish singari gazga issiqlik berish yoki gazning ichki energiyasi hisobiga bajariladi. Real gazning havosiz bo'shliqda (vakuumda) kengayishini qarab chiqamiz. Bunda tashqi bosim bo'lmaydi va gaz tashqi kuchlarga qarshi ish bajarmaydi; lekin molekulalar orasida ilashish (stsepleniya) kuchlari mavjud bo'lib, gaz kengayishida kuchlarni yengish uchun ish sarflanadi. Ish gazning ichki energiyasi hisobidan sarflanadi va gaz harorati pasayadi.

Quyidagi tajribani qaraylik. Idish olamiz va uni ikkiga ajratib, tirqish qo'yamiz va uni tiqin bilan mahkamlab qo'yamiz. Idishning bir qismida gaz bo'lib, ikkinchi qismida vakuum hosil qilingan. Tiqinni ochsak gaz bo'shliq tomonga intiladi va bu intilish molekulalar orasidagi ilashish kuchlarini yengganda kuzatiladi.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan gazning to'liq ichki energiyasi kengayishdan oldin va keyin ham teng bo'ladi, tashqi kuchlarga qarshi ish bajarilmaydi, ya'ni

$$C_V \cdot T_1 - \frac{a}{V_1} = C_V \cdot T_2 - \frac{a}{V_2}$$

Haroratning o'zgarishi

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{a}{c_v} \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)$$

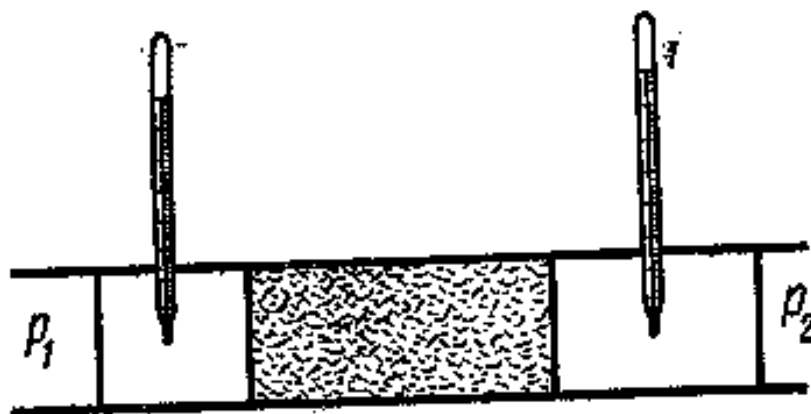
bu yerda  $T_1$  va  $V_1$ -gaz hajmi kengayishidan oldingi harorat va hajm,  $T_2$  va  $V_2$ - mos ravishda gaz hajmi kengaygandan keyingi harorat va hajm.

Agar  $V_2 > V_1$  bo'lsa, farq manfiy, bunda albatta, haroratlar farqi ham manfiy bo'ladi. Bu gazning bo'shliqda kengayishida uning sovishini bildiradi. Ayrim hollarda kengayayotgan gaz harorati oshishi ham mumkin.

Bu hodisani Joule va Tomson tajribasida ko'ramiz.

### *Joule-Tomson hodisasi*

Joule va Tomson tajribani quyidagicha o'tkazgan. ... trubkada tiqin joylashtirilgan (7-rasm). Tiqinning bir tomonida  $P_2$  bosim ostida, ikkinchi tomonida esa  $P_2 < P_1$  bosim ostida gaz bor. Bosimning har xil bo'lganligi sababli gaz vaqt o'tishi bilan tiqin orqali trubkaning bir tomonidan ikkinchi tomoniga o'tadi. Tiqinning har ikki tomoniga termometr, joylashtirib Joule-Tomson tajribasida gaz haroratlari o'zgarish belgisini aniqlash mumkin. Tajriba ko'rsatadiki, xona haroratida ko'pchilik gazlarda sovish, faqat vodorod va geliy gazlarida isish kuzatiladi.



7-rasm. Joule-Tomson tajribasi sxemasi.

Bu hodisaning sababini qarab chiqamiz. Faraz qilaylik, bir mol gaz  $P_1$  bosimda  $V_1$  hajmni egallasin. Bu gazlarni tiqin orqali o'tkazish uchun  $A_1 = P_1 V_1$  tashqi kuchlar ishi sarflanishi kerak. Gaz tiqindan o'tgandan so'ng,  $P_2$  bosim ostida  $V_2$  hajmgacha kengayadi va  $A_2 = P_2 V_2$  ishni bajaradi. Jarayon adiabatik ekanligi hamda energiyaning saqlanish qonunini e'tiborga olib, quyidagini yozish mumkin. :



$$U_1 + P_1 V_1 = U_2 + P_2 V_2 \quad (1)$$

Bu yerda  $U_1$  va  $U_2$  mos ravishda gazning kengayishigacha va kengayishdan keyingi bosimlari. Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = P_1 V_1 - P_2 V_2 \quad (2)$$

Joul-Tomson hodisasi sababini tushuntirish uchun (isish va sovishni) ikkita ideallashtirilgan chegaraviy holni ko'rib chiqmiz. Birinchidan, faraz qilaylik, molekulalar oxirgi hajmga ega bo'lib, masofada o'zaro ta'sirlashmaydi. U holda Van-der-Vaals tenglamasidagi tuzatma nolga teng va tenglama ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.

$$P(V-b) = RT \quad (3)$$

Qavslarni ochib PV ko'paytmani (2) ifodaga qo'ysak, quyidagini olamiz

$$\Delta U = R(T_1 - T_2) + b(P_1 - P_2) \quad (4)$$

Joul-Tomson tajribasida  $T_1 - T_2$  harorat o'zgarishi juda kam shuning uchun birinchi yaqinlashishda uni nolga teng deb olamiz. U holda  $P_1 > P_2$

$\Delta U$  kattalik musbat va gazning ichki energiyasi ortadi va gaz isiydi. Qaralayotgan hol uchun real gaz potensial energiyasi nolga teng, bunda molekulalarning kinetik energiyasi ortib gaz harorati ortadi, agar (4) munosabat o'ng tomonidagi birinchi a'zo ( $R(T_1 - T_2)$ ) nolga teng bo'lmasa natijalar miqdoriy jihatdan o'zgarmaydi, ya'ni manfiy qiymat oladi. Demak, molekulalar hajmi ularning o'zaro ta'siriga nisbatan ko'proq rol o'ynasada Joul-Tomson tajribasida gaz harorati ortadi.

Endi ikkinchi chegaraviy holni qarab chiqamiz. Faraz qilamizki molekulalar hajmga ega emas va molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir juda yuqori. U holda Van-der-Vaals tenglamasidagi b tuzatma nolga teng va tenglama quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\left( P + \frac{a}{V^2} \right) V = RT \quad (5)$$

(5) ifodadagi PV ko'paytma qiymatini (2) tenglikka qo'yib quyidagini olamiz.

$$\Delta U = R(T_1 - T_2) + a \left( \frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right) \quad (6)$$

$V_2 > V_1$  bo'lgani uchun (6) munosabat o'ng tomonidagi ikkinchi a'zo ( $a(\frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1})$ ) manfiy. Agar birinchi yaqinlashishda  $T_1 = T_2$  deb olsak  $\Delta U$  kattalik manfiy va gaz ichki energiyasi kamayib, gaz soviydi. Bu holda o'ng tomon birinchi a'zosi ( $R(T_1 - T_2)$ ) musbat va miqdoriy natijalar o'zgaradi, sifat o'zgarmay saqlanadi. Demak, molekulalarning o'zaro ta'sir kuchlari molekulalar hajmiga nisbatan ko'proq rol o'ynasa Joul-Tomson

tajribasida gaz kengayishi bilan uning harorati pasayadi. Gaz haroratining pasayishi ( $\Delta T < 0$ ) **musbat Joul-Tomson hodisasi**, gaz haroratining ortishi ( $\Delta T > 0$ ) **manfiy Joul-Tomson hodisasi** deyiladi.

Endi umumiy holni, gaz molekulari hajmi va o'zaro ta'siri mavjud deb qaraymiz. Van-der-Vaals tenglamasidan  $P_1$  bosimni quyidagicha ifodalaymiz:

$$P_1 = RT_1 \frac{1}{V_1 - b} \cdot \frac{a}{V_1^2} \quad (7)$$

(7) tenglikning har ikki tomonini  $V_1$  ga ko'paytirib, o'ng tomon birinchi a'zosi ( $RT_1 \frac{1}{V_1 - b}$ ) suratiga  $b$  kattalikni qo'shib, ayirsak u holda quyidagini olamiz.

$$P_1 V_1 = RT_1 \left(1 + \frac{1}{V_1 - b}\right) - \frac{a}{V_1} = RT_1 + RT_1 \frac{b}{V_1 - b} - \frac{a}{V_1} \quad (8)$$

$U = C_v T_1 - \frac{a}{V}$  munosabatni hajm kengayishidan oldingi va keyingi real gaz ichki energiyasi uchun yozib, faraz qilamizki, gaz kengaygandan so'ng  $V_2$  hajm katta va tuzatma kiritmaymiz.

$$U_1 = C_v T_1 - \frac{a}{V_1}; \quad U_2 = C_v T_2$$

$U_1$  va  $U_2$  ning qiymatlarini (1) tenglikka qo'yib, quyidagini olamiz:

$$C_v T_1 + RT_1 + RT_1 \frac{1}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} = C_v T_2 + RT_2 \quad (9)$$

(9) ifodaning o'ng tomonida  $P_2 V_2$  kattalik  $RT$  kattalikka almashtiriladi, ya'ni  $V_2$  katta hajmlarda gazni ideal deb qarab, Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan foydalaniladi. (9) ifodani almashtirib, quyidagini olamiz.

$$(C_v + R)T_1 + RT_1 \frac{1}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} = (C_v + R)T_2$$

bundan,

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{C_p} \left( RT_1 \frac{1}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} \right) \quad (10)$$

$\Delta T$  ning ishorasi qavsdagi ifoda ishorasi bilan aniqlanadi. Bu ifodani  $V_1 T_1$  tekislikda Joul-Tomson hodisasining musbat yoki manfiy oblastga ajratuvchi biror egrilik tenglamasi deb qarash mumkin. Ifodadagi qavslarni nolga tenglashtirib quyidagi tenglamani olamiz:

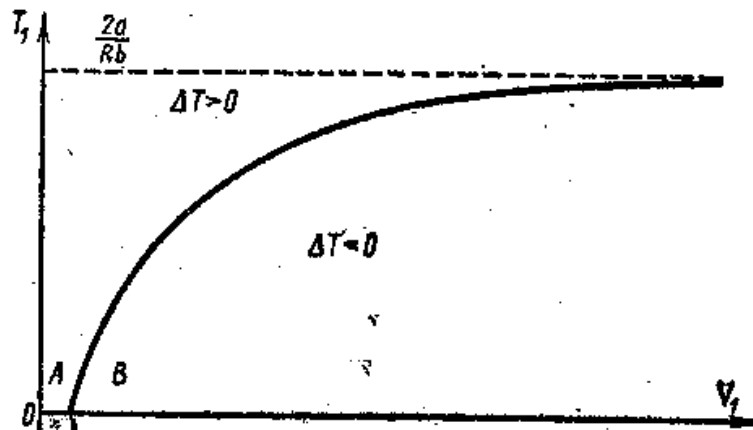
$$T_1 \frac{1}{V_1 - b} = \frac{2a}{Rb} \quad (11)$$

bu tenglama grafigi (8-rasm) da tasvirlangan. Egrilikning yuqori oblasti manfiy Joul-Tomson hodisasiga ( $\Delta T > 0$ ), egrilikning quyi oblasti musbat Joul-Tomson hodisasiga ( $\Delta T < 0$ ) mos tushadi. Egrilikning o'ziga to'g'ri

keluvchi nuqtalarda *Joul-Tomson hodisasi ishorasi o'zgaradigan harorat* mos keladi.

(11) ifoda bilan ifodalangan egrilik  $V_1$  katta hajmlarda  $\frac{2a}{Rb}$  qiymatga asimptotik intiladi. Bu eng yuqori harorat qiymati bo'lib, bu haroratda hodisa ishorasi o'zgaradi, bunga *inversiya harorati* deb aytiladi. Bu haroratdan yuqori hodisalar hammasi manfiy.

Inversion harorat vodorod uchun  $200^\circ\text{K}$ , kislorod uchun  $1063^\circ\text{K}$ , karbonat angidrid gazi uchun  $2073^\circ\text{K}$  va hokazo.



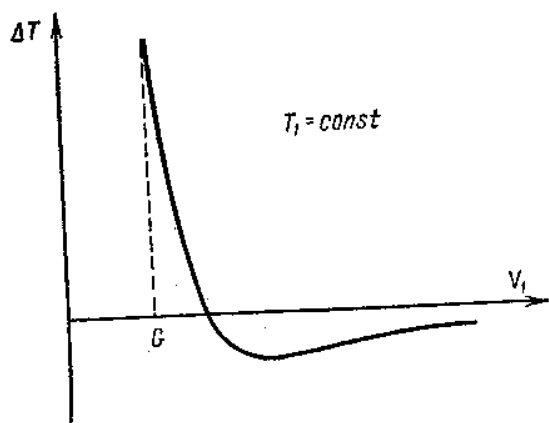
8-rasm. Joul-Tomson hodisasi chegaralari (oblasti).

(8-rasm) dan ko'rinadiki, gazning kichik boshlang'ich solishtirma hajmidan A nuqta kengaytirib borilsa, u holda Joul-Tomson hodisasi juda kichik boshlang'ich haroratlarda ham manfiy, gaz isiydi. Boshlang'ich hajmning oshishi (B nuqtaga o'tish) hodisa ishorasini o'zgartiradi. Ya'ni gaz kengayganda soviydi.

$\Delta T$  sovish kattaligi  $V_1$  hajmning katta qiymatlarida hodisa ishorasi o'zgarishi chizig'i yaqinida juda kichik, bunday holga gaz ideal gazdan kam farq qilib, Joul-Tomson hodisasi kuzatilmaydi.

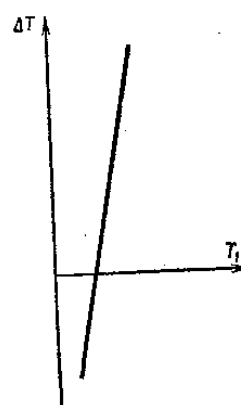
(9-rasm) da boshlang'ich doimiy  $T_1$  haroratda  $\Delta T$  ning boshlang'ich  $V_1$  hajmga bog'liqligi ko'rsatilgan. Boshlang'ich hajmni topishda (bunda eng yuqori sovish bo'ladi) funksiya maksimum shartlaridan foydalanish kerak, ya'ni  $\frac{d(\Delta T)}{dV_1} = 0$  tenglamadan, u holda tenglama quyidagini beradi.

$$\frac{2a}{V_1^2} - RT_1 \frac{1}{(V_1 - b)^2} = 0$$



9-rasm. Sovish kattaligining

boshlang'ich hajmga bog'liqligi



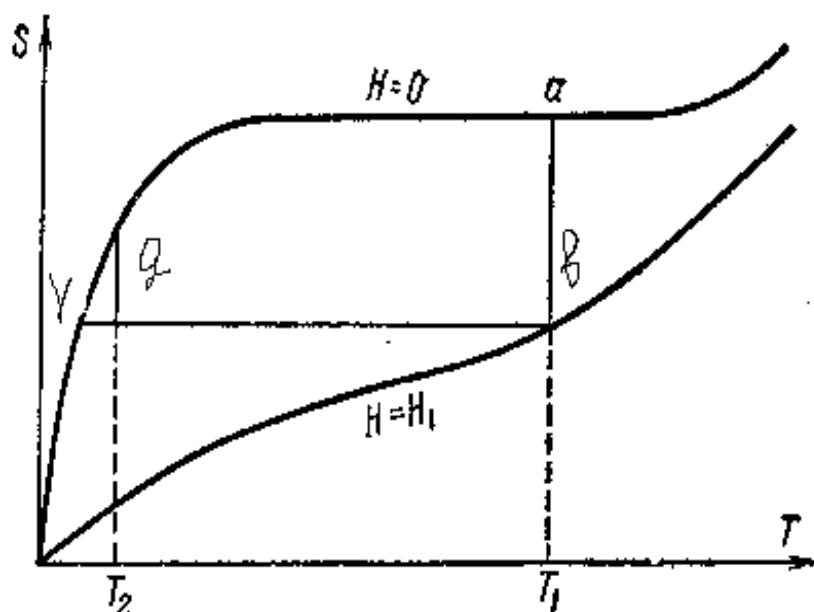
10-rasm. Sovish kattaligining

boshlang'ich haroratga bog'liqligi

(10-rasm) da boshlang'ich doimiy  $V_1$  hajmda  $\Delta T$  ning boshlang'ich  $T_1$  haroratga bog'liqligi ko'rsatilgan. Ma'lumki, eng yuqori sovishni past boshlang'ich haroratlarda olish mumkin.

### ***Past haroratlarni olish***

Amalda  $200^\circ\text{K}$  va undan past haroratlarni olish sanoatda va moddaning fizik xossalarini o'rganishda katta ahamiyatga ega. Qattiq karbon kislotasi  $195^\circ\text{K}$ , qaynayotgan suyuq azot  $78^\circ\text{K}$ , qaynayotgan vodorod  $20^\circ\text{K}$ , qaynayotgan geliy  $4,19^\circ\text{K}$  harorat berishi mumkin. Qaynayotgan suyuqliklar bosimi kamaytirilsa, bu haroratlarni yanada past bo'lishi mumkin. O'ta past harorat, ya'ni qaynayotgan geliy haroratidan past harorat muhim qiziqish uyg'otadi. Bosimni pasaytirish yo'li bilan  $0,72^\circ\text{K}$  haroratni olish mumkin va bu usulda undan past haroratni olish mumkin emas. Adiabatik magnitlanish usuli yordamida  $0,001^\circ\text{K}$  harorat hosil qilish mumkin. Bu usul paramagnit tuzi entropiyasining magnit naydon kuchlanganligi bilan bog'liqligiga asoslangan (paramagnit tuz magnit maydonda joylashtirilgan (11-rasm) da, magnit maydon bo'lgan va magnit maydon bo'lmagan holdagi bog'lanishi TS diagrammada keltirilgan.



11-rasm. Adiabatik magnitlanishda sovitish.

Paramagnit tuzlari ionlarga magnit maydon yordamida oriyentirlanadi (tartiblanadi). Entropiya tartibsizlik o'lchovi bo'lgani uchun, bunday holda entropiya kamayadi. Magnit maydon kuchlanganligi katta bo'lganda, aytaylik 20-15000 A/sm. da entropiya magnit maydon bo'lmagan holdagidan ham kichik qiymat oladi. Namunaga magnit maydon ta'sir etib gelyli bug'latkichga yetarlicha past harorat hosil qilinsa, u holda elektron magnit momenti spinlarining tartiblashuvi natijasida entropiya kamayadi (rasmdagi a, b chiziq). Geliy va tuz orasida yaxshi kontakt bo'lgan jarayon izotermik bo'ladi.

$dQ = T\Delta S$  ga asosan magnitlanish tuzdan geliyga berilayotgan issiqlik miqdori hisobida bo'ladi. Agar tuz va geliy orasida kontakt bo'lmasa, ya'ni magnit maydon uzilsa, u holda jarayon adiabatik shartga bo'ysunadi. (rasmdagi b, v chiziq). Haqiqatdan ham, adiabatik jarayonda entropiya kamayadi. Jarayonning oxirgi holatini tavsiflovchi b nuqtaga eng past harorat to'g'ri keladi. Magnit maydon qo'yilsa, yana tuz ionlarining tartiblashuvi natijasida entropiya kamayadi va aksincha.

Adiabatik jarayonda umumiy entropiya o'zgarmaydi, entropiyaning kamyishi haroratining ham pasayishiga olib keladi. Adiabatik sovitishning issiqlik effekti juda yuqori. Adiabatik magnitlanishda bir necha gramm kvarsni qo'shish yo'li bilan bir necha kilogramm diamagnit moddaning haroratini  $1^{\circ}\text{K}$  dan o'ta past  $10^{-3}\text{K}$  gacha tushurish mumkin. Yuqorida ko'rilgan prinsipga asosan, Dount Karno siklida ishlovchi davriy ta'sir etuvchi magnit mashinasini yaratdi va bu mashinada  $1^{\circ}\text{K}$  dan  $0,25^{\circ}\text{K}$  gacha past harorat olinadi. Magnit momentga ega bo'lgan atom yadrolari

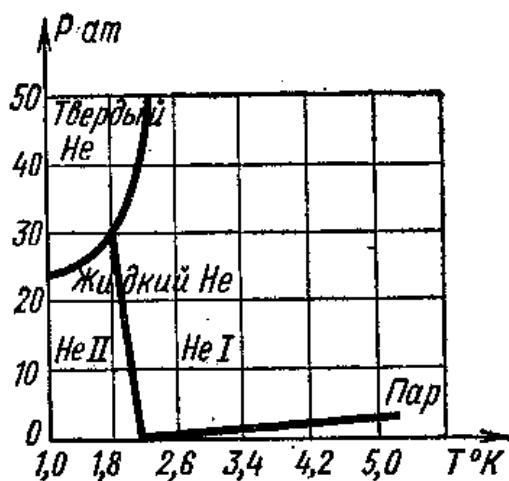
sistemasini o'ta murakkab adiabatik magnitlanish jarayonini qo'llash bilan  $10^{-5} \div 10^{-6} \text{K}$  harorat hosil qilinadi. Bu usulda  $10^{-7} \text{K}$  past harorat olish mumkin.

O'ta past haroratlarni o'lchash juda murakkab. Absolyut shakaladan bir necha gradusni va undan yuqori haroratni qarshilik termometri va termopara yordamida o'lchash mumkin. O'ta past harorat paramagnit qabul qiluvchanlikning haroratga bog'liqligidan topiladi (Kyuri qonuni).

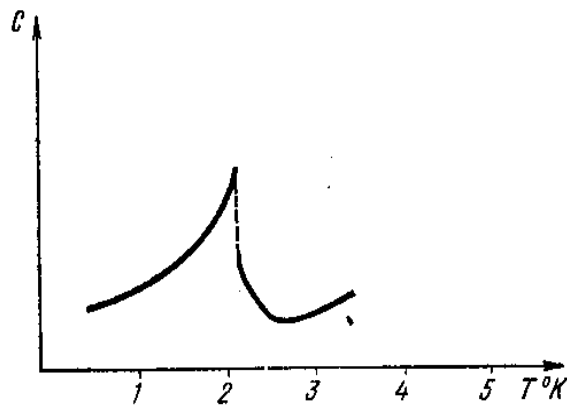
### *Suyuq geliy xossalari. O'ta oquvchanlik*

Geliy uchun kritik harorat  $5,2 \text{K}$  va atmosfera bosimi ostida qaynash harorati  $4,215 \text{K}$ . Geliy tabiatdagi eng sovuq suyuqlik va uni bir necha atmosfera bosimi ostida qattiq holda olish mumkin. Suyuq geliy laboratoriya tekshiruvlarida, past harorat talab etilganda ishlatiladi. Asosan u o'ta o'tkazuvchanlikni tekshirishda ishlatiladi.

Geliyning eng ajoyib xossasi shundaki,  $2,19 \text{K}$  haroratda boshqa modifikatsiyaga, ya'ni geliy II ga o'tishidir. Holat diagrammasi (12-rasmda keltirilgan). Bu o'tish II-tur fazoviy o'tish bo'lib, unda issiqlik sig'imi keskin ortadi (13-rasm). O'tishning bunday harorati **lyamda nuqta** deyiladi. Geliy II ning hayratga qoldilarli xossasi shundaki, u o'ta oquvchandir. O'ta oquvchanlik 1938-yilda P.L.Kapitsa tomonidan ochilgan va 1941-yilda L.D.Landau tomonidan tushuntirilgan. O'ta oquvchan geliy II yopishqoqlikka (qovushqoqlikka) ega emas, shuning uchun juda tor kapillyar va tirqishlardan ishqalanishsiz o'ta oladi. Geliy II qattiq jismga tekkizilganda ingichka plyonka hosil qiladi va bu plyonka qattiq jism sirti bo'ylab, harorat yuqori tomonga harakatlanadi. Agar geliy II solingan naycha geliyli idishga solinsa, naychadagi geliy sathi idishdagi geliy sathidan baland bo'lsa, u holda plyonka naycha devorlari bo'yicha sirpanadi, toki naydan geliy idishga o'tib, sathlar tenglashguncha. Naychadagi geliy II sathi idishdan past bo'lsa, u holda harakat teskari yo'nalishda bo'ladi.



12-rasm.



13-rasm. Geliyning lyamda nuqtasi.

L.D.Landau tomonidan o'ta oquvchanlik hodisasiga berilgan tushuncha shundaki; absolyut nolga geliy II, jumladan boshqa moddalar ham atomi energiyasi va impulsini o'zgartira olmaydi. Shuning uchun qattiq jismlar bilan ta'sirlashganda kapillyar bo'ylab oqqanda impuls uzatilishi kuzatiladi, ya'ni yopishqoqlik bo'lmaydi. Agar harorat absolyut noldan yuqori bo'lsa, u holda uning atomlari uyg'ongan holatga o'tib, impuls bera oladi. Bundan geliy II ikki komponentli uyg'onmagan o'ta oquvchan va yopishqoqlikka ega uyg'ongan o'ta oquvchan bo'lishi namoyon bo'ladi. Diametri juda kichik kapillyarlarda faqat yopishqoq bo'lmagan komponent oqib, uning oqim tezligi kapillyar uchlaridagi bosim farqiga bog'liq emas. Diametri katta bo'lgan kapillyarlarda yopishqoq komponent ham oqishi mumkin va oqim tezligi kapillyar uchlaridagi bosim farqiga bog'liq bo'ladi. Bu bo'glanish oddiy suyuqlik uchun Puazeyl qonuni bilan ifodalanadigan bog'lanishdan keskin farq qiladi.

O'ta oquvchanlik sof kvant hodisa bo'lib, uni klassik fizika tushuntira olmaydi. Geliy II yagona kvant suyuqlik, boshqa suyuqliklar yuqori haroratlarda kvant effekti bo'yicha qattiq holga o'tadi.

Geliy II yana qator ajoyib xususiyatlarga ega. Uning issiqlik o'tkazuvchanligi kumushga nisbatan yuzlab marta ortiq u o'ta o'tkazuvchan bo'lib, unda issiqlik konveksiyasi usulida uzatiladi. Impuls oddiy atomdan atomga emas, balki butun o'ta oquvchan suyuqlik oqimlari orqali tarqaladi. Suyuq geliy I va geliy II tashqi ko'rinishidan ham bir-biridan farq qiladi. Geliy I atmosfera bosimi ostida qaynasa, geliy II bunday sharoitda tinch suyuqlikdir.

Geliy II da tovushning ikki xil tarqalish tezligi mavjud. Birinchisi elastik to'liq siqilishi bilan ikkinchisi harorat bilan bog'liq bo'ladi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

2 atm bosim ostida 820 sm<sup>3</sup> hajmni egallagan, massasi 2 g bo'lgan azotning haroratini toping. 1. Ideal gaz uchun, 2. Real gaz uchun.

#### Berilgan:

$$P=2 \text{ atm}=2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V=820 \text{ sm}^3=8,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M=2 \text{ g}=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\mu=28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$a=1,36 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}^4/\text{kmol}^2$$

$$b=3,85 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$T_{\text{ideal}}=?$$

$$T_{\text{real}}=?$$

#### Masalaning yechilishi:

1. Mendeleyev-Klapeyron tenglamasini yozamiz:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

Yuqoridagi formuladan  $T$  haroratni topamiz:

$$T = \frac{\mu PV}{mR}$$

2. Istalgan gaz massasi uchun Van-der-Vaals tenglamasini yozamiz:

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

Van-der-Vaals tenglamasidan  $T$  haroratni topamiz:

$$T = \frac{\mu}{MR} \left( P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right)$$

Hisoblaymiz:

$$1. T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 8,2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 280 \text{ K}$$

$$2. T = \frac{\mu}{MR} \left( P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right) = \\ = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \left( 2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 + \frac{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}{(28 \cdot 10^{-3})^2 (8,2 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left( 8,2 \cdot 10^{-4} - \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,85 \cdot 10^{-2}}{28 \cdot 10^{-3}} \right) = 280 \text{ K}$$



## 2-masala

28 atm bosim ostida  $90 \text{ sm}^3$  hajmni egallagan, massasi 3,5 g bo'lgan kislorodning haroratini toping. 1. Ideal gaz uchun, 2. Real gaz uchun.

### Berilgan:

$$P=28 \text{ atm}=28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V=90 \text{ sm}^3=0,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M=3,5 \text{ g}=3,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\mu=32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$a=1,36 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}^4/\text{kmol}^2$$

$$b=3,16 \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$T_{\text{ideal}}=?$$

$$T_{\text{real}}=?$$

### Masalaning yechilishi:

Yuqoridagi masalaga asosan, kislorodning haroratini ideal va real gazlar uchun hisoblaymiz:

$$1. T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 281 \text{ K}$$

$$2. T = \frac{\mu}{MR} \left( P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right) =$$

$$= \frac{32 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{-3}} \left( 28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 + \frac{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2}{(32 \cdot 10^{-3})^2 (0,9 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left( 0,9 \cdot 10^{-4} - \frac{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,16 \cdot 10^2}{32 \cdot 10^{-3}} \right) = 289 \text{ K}$$

## 3-masala

Massasi 10 g bo'lgan geliy  $10^8 \text{ Pa}$  bosim ostida  $100 \text{ sm}^3$  hajmni egallaydi. Haroratini toping. 1. Ideal gaz uchun, 2. Real gaz uchun.

### Berilgan:

$$P=10^8 \text{ Pa}$$

$$V=100 \text{ sm}^3=1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M=10 \text{ g}=1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\mu=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$a=3,43 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^4/\text{kmol}^2$$

$$b=2,34 \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$T_{\text{ideal}}=?$$

$$T_{\text{real}}=?$$

### Masalaning yechilishi:

Yuqoridagi masalaga asosan, kislorodning haroratini ideal va real gazlar uchun hisoblaymiz:

$$1. T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 8,31} = 482 \text{ K}$$

$$2. T = \frac{\mu}{MR} \left( P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right) =$$

$$= \frac{4 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-2}} \left( 1 \cdot 10^8 + \frac{3,43 \cdot 10^{-7} \cdot (1 \cdot 10^{-2})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2 (1 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left( 1 \cdot 10^{-4} - \frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 2,34 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^{-3}} \right) = 204 \text{ K}$$

## VII. BO'LIM

### SUYUQLIKLAR

#### *Suyuqliklarning tuzilishi*

Moddalar uch agregat holatda (gaz, suyuq, qattiq) bo'lib, ularning fizik xususiyatlari holat parametrlari o'zgarishi bilan bir-biridan farq qilishi yoki o'xshash bo'lishi mumkin.

Masalan, normal sharoitda gaz molekulalari orasidagi masofa ularning o'lchamligiga nisbatan juda katta bo'lib, zichligi kichik va siqiluvchan bo'ladi, ya'ni ***gaz molekulalari orasidagi o'zaro tortishish kuchi kichik bo'lganligidan u o'zi solingan idish hajmini to'la egallaydi va idish shaklini oladi.***

Suyuqlik molekulalari esa bir-biriga juda yaqin joylashgan bo'lib, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi gaz molekulalari orasidagi o'zaro kuchidan bir necha yuz marta katta bo'lib, zichligi gazlar zichligidan yuz martalab katta, juda kam siqiluvchandir. Bu xususiyati jihatidan suyuqliklar qattiq jismga yaqin turadi. Kritik haroratga yaqin haroratda suyuq holat va to'yingan bug' xususiyatlari (zichligi, siqilishi) bir-biriga juda yaqin bo'lib, suyuqlik gazga o'xshasa, erish haroratida suyuqlik o'zining ko'pchilik xususiyati bilan qattiq jismga o'xshaydi. ***Suyuqlik, gaz kabi, o'zi qo'yilgan idish shaklini olsa-da, lekin qattiq jism kabi ma'lum hajmni egallaydi.***

Gazlarda molekulalar betartib harakatda bo'lsa, qattiq jismlarda molekulalar o'z muvozanat holati atrofida faqat tebranma harakat qiladi, ya'ni qattiq jism molekulalarini joylashishida aniq tartib mavjuddir.

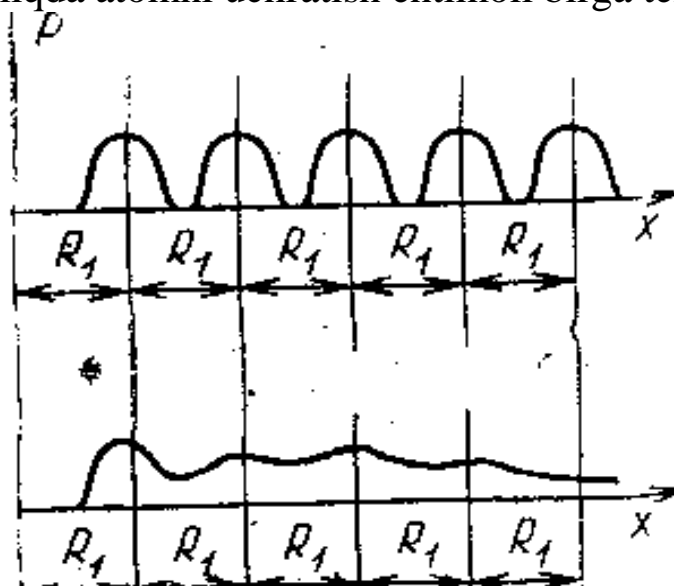
Suyuqlik molekulalari qattiq jism molekulalari kabi zich joylashgan bo'lsa-da, uning o'z hajmini o'zgartirishi suyuqlik molekulalarini (gaz molekulalaridek bo'lmasa-da) ozmi-ko'pmi bir-biriga nisbatan erkin harakat qilishini ko'rsatadi. Shunday qilib, ***gaz holati (molekulalar erkin harakati) bilan qattiq holat (molekulalar muvozanat holati atrofida tebranadi) oralig'idagi modda holati suyuq holatdir.***

Yuqorida aytilgan fikrlarning to'g'riligini suyuqliklarning rentgen strukturasi tahlil qilish bilan ham tasdiqlash mumkin.

1-rasmda kristall va suyuqliklarda atomlarning taqsimlanish ehtimolligi (P) keltirilgan.

Biron-bir atomni sanoq boshida deb olib shundan ma'lum yo'nalishda  $R_1$  masofada boshqa atom borligini bilmoqchi bo'lsak, issiqlik harakati hisobga olinmaganda,  $R_1$  masofadan kam masofada atomni

uchratish ehtimoli nolga teng bo'ladi.  $R_1$  masofada bu ehtimollik birga teng bo'ladi. Shuningdek, tanlangan yo'nalishda keyingi atom oldingi atomdan faqat  $R_1$  masofada turadi.  $R_1$  dan katta va  $2R_1$  dan kichik masofada atomni bo'lish ehtimoli nolga teng bo'lib  $2R_1$  masofada birga teng bo'ladi. Shunday qilib, tanlangan atomdan ma'lum bir yo'nalishda  $R_1$  masofaga karrali oraliqda atomni uchratish ehtimoli birga teng.



1-rasm.

Agar atomlarning issilik harakati hisobga olinsa, ularning  $R_1$  masofadan ozgina farqli masofalarda ushratish ehtimoli noldan farqli bo'ladi. Atom qo'shni atomga bir yaqinlashsa (masofa  $R_1$  dan kichik), undan bir uzoqlashadi ( $R_1$  dan bir oz katta).

Sanoq boshida turgan atomdan boshqa atomlarni qanday masofada bo'lishi va ular orasidagi masofani o'zgarish ehtimoli 1-rasmda ko'rsatilgan grafikda berilgan. Grafikda ko'rinadiki (yuqoridagi egrilik), har bir  $nR_1$  oraliqda atomni bo'lish ehtimolligi kengligi (egrilikning qo'ng'iroqsimon qismining kengligi) bir xildir. Ana shu kenglikning o'zgarmas qolishi kristall bo'yicha tartibni saqlanishini, demak, kristallda ham yaqin, ham uzoq tartib borligini ko'rsatadi.

Suyuqliklarda esa egrilikning ko'rinishi boshqachadir (pastki egrilik).

Suyuqliklarda ham atom ma'lum masofada uchrash ehtimolligi (P) sifat jihatdan kristalldagi kabidir. Lekin egrilikdagi birinchi qo'ng'iroqsimon qismdagina maksimum yaqqol ko'rinib,  $2R_1$ ,  $3R_1$  va hokazo oraliqlarda maksimum kamayib boradi va oxiri deyarli yo'qoladi. Demak, tanlab olingan suyuqlik atomidan faqat  $R_1$  masofada boshqa atomni bo'lish ehtimolligi eng katta bo'lib (kristallardagi kabi), masofa

ortgan sari ehtimollik kamayib, istalgan masofada atomni bo'lish ehtimolligi bir-biriga tenglashib qoladi (gazlardagi kabi). Bu esa suyuqliklarda yaqin tartib mavjud bo'lib, uzoq tartib yo'qligini ko'rsatadi.

Shuni aytish kerakki, ehtimollikni ko'rsatuvchi egrilikdagi maksimumning o'ng qismi nolgacha tushmaydi. Bu shuni ko'rsatadiki, suyuqliklarda tanlangan zarraga yaqin zarra aniq bir zarra bo'lmay o'zgarib turadi. Shuning uchun tanlangan molekulaga yaqin molekular soni to'g'risida gap yuritilsa, faqat o'rtacha son to'g'risida fikr yuritish mumkin.

Yuqorida suyuqliklarning xususiyati holat parametriga qarab qattiq jism xususiyatiga yoki gaz xususiyatiga yaqin bo'lishi to'g'risida fikr yuritgan edik. Suyuqlikning xususiyatini bunday ikkilangan bo'lishiga sabab, suyuqlik molekulari harakatining o'ziga xosligidir.

***Qattiq jism molekulari muvozanat holati atrofida tebranma harakat qiladi, gaz molekulari harakati esa to'la betartib bo'ladi.***

Suyuqlik molekulari qattiq jism molekulari kabi qandaydir muvozanat holati atrofida tebranadi. Lekin bu tebranish o'rni miqdor bo'lmay ma'lum  $\tau$  vaqtdan keyin boshqa o'ringa siljiydi ( $10^{-8}$  sm) va bu o'rinda tebrana boshlaydi.

Molekula o'zining bir vaqtinchalik muvozanat holatidan ikkinchi holatiga o'tganda, uning boshqa molekular bilan aloqasi uziladi. Aloqa uzilishi uchun  $W$  energiya sarflanadi. Molekula yangi o'ringa sakrab o'tgandan keyin bu o'rin atrofidagi molekular bilan aloqada bo'ladi. Bunda  $W$  energiya ajralib chiqadi.

Shunday qilib, ***molekula “eski” orindan “yangi” o'ringa o'tganda uning potensial energiyasi  $W$  ga ortadi. Bu energiyani aktivatsiya energiyasi deyiladi va boshqa molekular energiyasi hisobiga bo'ladi.***

Agar suyuqlik molekulasini ma'lum o'rinda vaqtincha tebranish davrini  $\tau_0$  desak, shu o'rinda-tebranish (o'troqlik) vaqti

$$\tau = \tau_0 y^{\frac{w}{kT}} \quad (1)$$

bo'ladi.

$\tau$  – molekulaning “o'troq” holati mavjud bo'lishining o'rtacha vaqti ***relaksatsiya vaqti*** deb yuritiladi va formuladan ko'rinadiki, harorat ortishi bilan u kamayib, aksincha kamayishi bilan ortadi.

Agar suyuqlik harorati kritik haroratga yaqin bo'lsa, suyuqlik molekulasining muvozanat holati atrofida tebranish chastotasi  $10^{12}$ - $10^{13}$  Gs bo'lib, o'z o'rnida taxminan  $10^6$  marta tebranib boshqa o'ringa sakraydi. Bu sakrashlar har sekundda  $10^5$ - $10^6$  marta bo'ladi. Harorat pasayishi bilan bu sakrashlar soni kamayib, suyuqlik yopishqoq bo'lib qoladi.

Tajribalar ko'rsataadiki, suyuqliklarning hajmiy kengayish koeffitsiyenti gazlarnikiga nisbatan kichik bo'lib, xarakterli tomoni shundaki, bosim ortishi bilan hamma suyuqliklar uchun bu koeffitsiyent deyarli bir xil bo'ladi.

Umuman olganda harorat ortishi bilan suyuqliklarning issiqlik sig'imi oz bo'lsa-da ortadi, lekin  $C_p$  va  $C_v$  o'rtasida farq juda kichik bo'ladi.

Suyuqliklarning yopishqoqligi gazlarnikiga nisbatan juda katta bo'lib, harorat ortishi bilan kamayadi. Har xil suyuqliklar uchun yopishqoqlik koeffitsiyenti bir-biridan katta farq qiladi. Masalan, uy haroratida suv yopishqoqligi glitserin yopishqoqligidan 250 marta kamdir.

Suyuqliklarning muhim xususiyatidan biri o'zi solingan idish devori bilan chegaralanmagan erkin sirtiga ega bo'lish xususiyatidir.

Agar suyuqlik tomchisiga og'irlik kuchi ta'sir qilmasa, tomchi shar shaklini oladi, ya'ni uning sirti eng kichik bo'lishga intiladi. Bunga sabab suyuqlik sirtidagi molekullarni alohida energetik holatda bo'lishidir.

### ***Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi***

Suyuqliklar hajmining haroratga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$V_t = V_0(1 + \beta t)$$

bu yerda  $\beta$  – suyuqliklarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti.

Suyuqliklarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti ( $\beta$ ) ning son qiymatlari harorat va bosimga bog'liqdir. Bir xil harorat va bosimlarda turli suyuqliklarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti  $\beta$  keskin o'zgaradi. Masalan: 20<sup>0</sup>S da suv uchun  $\beta = 15 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ , benzol uchun  $\beta = 124 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ , suyuq karbonat kislota uchun  $\beta = 1050 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ , glitserin uchun  $\beta = 53 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$  va hokazo. Haroratning teng oshishi bilan  $\beta$  tez oshadi. Karbonat kislota uchun harorat 0<sup>0</sup>S dan 20<sup>0</sup>S ga ko'tarilganda, issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti  $\beta$  2 marta ortadi. Bosimning oshishi esa issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti  $\beta$  ni qiymatini bir qadar kamaytiradi. Suv anomal issiqlikdan kengayishga ega. Haroratning 0<sup>0</sup>S dan 3,98<sup>0</sup>S gacha intervalida issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti  $\beta$  manfiy qiymat oladi: Isitish vaqtida suvning hajmi kamayib, 3,98<sup>0</sup>S da suv eng katta zichlikka ega bo'ladi. Bu haroratda  $\beta = 0$  bo'ladi. Bosimning oshishi bilan maksimal zichlikdagi harorati tushadi va uni quyidagicha empirik formula yordamida hisoblanadi.

$$t_{\rho_{\max}} = 3,98 - 0,0225$$

(1)

Bu yerda  $P$  – bosim, atmosferalarda o`lchaniladi. Suvning anomal kengayishining sababi shundaki, suv molekulasining tarkibi har xil bo`ladi. Faqat  $N_2O$  emas, balki  $2N_2O$  va  $3N_2O$ . Bu molekullarning nisbiy miqdori harorat va bosimga bog`liq ravishda o`zgaradi.

### ***Suyuqliklarning issiqlik sig`imi***

Ma`lumki, erish nuqtasi yaqinida modda qattiq va suyuq fazalari issiqlik sig`imlari bir-biridan juda kam farq qiladi, bu esa qattiq jism va suyuqlikning strukturalari o`xshashligidan darak beradi. Suyuqliklarning issiqlik sig`imi ularning molekulyar og`irligiga bog`liq bo`ladi, ya`ni molekulyar strukturasi. Issiqlik sig`imi nazariyasiga asosan suyuqlikning molekulyar og`irligi katta bo`lsa, uning issiqlik sig`imi ham yuqori bo`ladi. Bu hol organik suyuqliklarda yaqqol namoyon bo`ladi (H, O, C, N), chunki ular ko`p sonli yengil elementlardan iborat bo`lib, erkinlik darajalari katta, shuning uchun issiqlik sig`imi yuqori. Xona haroratida amil spirt  $CH_3(CH_2)_3CH_2OH$  molekulasida 18 ta atomdan iborat bo`lib,  $C_m$  molekulyar issiqlik sig`imi  $203 \frac{J}{g \cdot mol \cdot grad}$  ga yoki skipidar molekulasida 26 ta atomdan iborat va

$$C_m = 285 \frac{J}{g \cdot mol \cdot grad}$$

ga teng.

Bunday suyuqliklarning issiqlik sig`imi haroratga juda bog`liq, organik suyuqliklar uchun bu bog`lanish quyidagicha bo`ladi:

$$C_p = a + bt$$

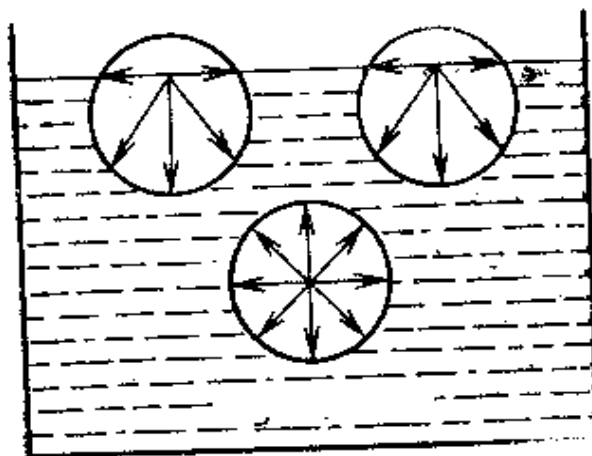
bu yerda  $a$  va  $b$  – koeffitsientlar bir sinf suyuqliklari uchun bir xil, masalan, spirt, efir va hokazo.

### ***Sirt qatlam. Sirt taranglik***

Suyuqlik ichidagi har bir molekula o`zini o`rab olgan boshqa molekullar bilan o`zaro ta`sirda bo`ladi. O`zaro ta`siri o`rganilayotgan ikki molekula orasidagi masofa ortib borishi bilan ta`sir kuchi kamayib boradi va qandaydir  $R$  masofadan keyin nolga teng bo`lib qoladi. Shunday qilib, tanlangan molekula atrofida markazi shu molekulada yotgan  $R$  radiusli sfera o`tkazsak, biz tanlangan molekula shu sfera ichida yotgan hamma molekullar bilan o`zaro ta`sirlashadi. Ana shu sferadan tashqarida

yotgan molekular bilan ta'siri hisobga olmasa ham bo'ladi.  $R$  radiusni ta'sir radiusi, sferani esa ta'sir sferasi deb atalib,  $R=10^{-9} m$  ga teng.

Suyuqlikning ichki qismida turgan 1 molekulani va suyuqlik sirtida turgan 2 yoki 3 molekula atrofida ta'sir sferasini chizaylik (2 -rasm).



2-rasm.

Suyuqlik ichida turgan 1 molekulaga sfera radiusi bo'yicha yo'nalgan kuchlar ta'sir qilib, bu kuchlar teng ta'sir etuvchisi nolga teng.

Suyuqlik sirtida yotgan molekulaga ham ta'sir sferasi radiusi bo'yicha boshqa molekular ta'sir qilsa, bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lmaydi. Chunki ta'sir sferasining ustki yarim qismida bug'dagi molekular sonidan, pastki qismida suyuqlikdagi molekular soni juda ko'p. Shuning uchun 2 yoki 3 molekulaga ta'sir qilayotgan kuchlar teng ta'sir etuvchisi suyuqlik ichiga tomon yo'nalgan bo'ladi.

Bundan tashqari, suyuqlik sirtida yotgan molekular ham 2 yoki 3 molekulaga suyuqlik sirtiga urinma bo'lgan kuch bilan ta'sir qiladi. Bu kuchlar suyuqlik sirtini qisqartirishga harakat qiladi. Bu kuchlarni biz, **sirt taranglik kuchlari** deb ataymiz.

Sirt taranglik kuchini tavsiflash uchun suyuqlik sirtiga fikran 1 uzunlikka teng kesmani olaylik. Bu kesmani ikki tomoniga joylashgan molekular o'zaro tortishib sirt taranglik kuchini hosil qiladi va bu kuchlar teng ta'sir etuvchisi kesmaga perpendikulyar yo'nalgan. Shu sirt taranglik kuchini  $F$  desak, kesma uzunligi birligiga to'g'ri kelgan kuch

$$F = \sigma \cdot l \quad (1)$$

ga teng bo'ladi.

Bu yerda  $\sigma$  - sirt taranglik koeffitsienti deb ataladi.

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (2)$$



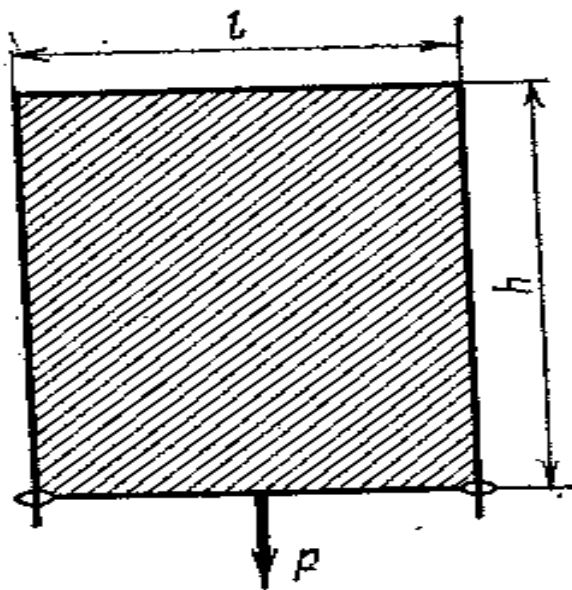
Sirt taranglik koeffitsienti suyuqlik sirtida olingan kesmani to'g'ri yoki egriligiga bog'liq emas.

### *Suyuqlik sirt qatlami energiyasi*

Sirt taranglik koeffitsientiga quyidagicha ham ta'rif berish mumkin. Buning uchun quyidagicha tajribani taklif etamiz: simli ramkaga (3-rasm) uning chet yo'nalishlarida erkin harakat qila oladigan yengil perekladina (to'siq) kiydiramiz. Ramkani sovunli eritmaga botirib undan sovunli plyonkali ramkani chiqaramiz. Sovunli plyonka o'z sirtini qisqartirishga intiladi va shuning uchun to'siqni yuqoriga ko'taradi. Bunda vertikal yo'nalgan  $F$  sirt taranglik kuchi,  $\sigma$  sirt taranglik koeffitsientining  $2 \cdot l$  uzunlikka ko'paytmasiga teng bo'ladi. Bu yerda  $l$  ramkaning eni. Uzunlik ikkilanganligiga sabab shuki, plyonka xuddi qog'oz varag'iday ikki sirtga ega bo'ladi. Sirt taranglik kuchini muvozanatlash uchun ramkaga  $P$  yuk osiladi. Muvozanat vaqtida

$$P = 2\sigma l$$

bo'ladi



3-rasm. Suyuqlik sirtining hosil bo'lishi.

Agar yuk tortilmaydigan plyonkaga qo'yilgan bo'lsa, u holda muvozanat holga kelish uchun plyonkani  $\Delta h$  kattalikka tortadi. Bunday holda tortish ishi

$$\Delta A = P \Delta h = 2l\sigma \Delta h = G \Delta S$$

bu yerda  $\Delta S = 2l \Delta h$  – plyonka sirtining o'sishi

*Bundan*

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (1)$$

Demak, *sirt taranglik koeffitsienti* – birlik suyuqlik sirtini hosil qilish uchun sarflangan ish yoki bu kattalik suyuqlik birlik qatlamining erkin energiyasidir.

(1) formuladan ko`rinadiki, sirt taranglik koeffitsientining birligi N/m. larda o`lchanadi.

Tortish ishi A sirtning to`liq energiyasiga teng bo`lmaydi.

Suyuqlik sirti adiabatik tortilganda, soviydi. Suyuqlik sirti izotermik tortilganda A ish bajarish bilan birga Q issiqlik miqdori ham zarur bo`ladi. Bunda suyuqlik sirtining to`liq energiyasi termodinamika 1-qonuniga ko`ra

$$U = Q + A$$

bo`ladi.

*A kattalik sirtning erkin energiyasi deyiladi, ya`ni suyuqlik sirti qisqarganda potensial energiya boshqa energiyaga o`tadi yoki suyuqlikning ko`chishiga sarflanadi.*

Yuqoridagi tajribadan suyuqlik sirtining tortilishi eritmalar uchun o`rinli. Toza suyuqliklar uchun bunday tajribani o`tkazib bo`lmaydi. Toza suyuqlik plyonkasi tortilishi bilan sirt taranglik koeffitsienti o`zgarmaydi va aks ta`sir kuchi doimiy saqlanadi.

Farqli ravishda qattiq jismda aks ta`sirlovchi deformatsiya kuchi Guk qonuniga asosan deformatsiyaga mutanosib ortadi. Toza suyuqlik plyonkasining tortilishida muvozanat turg`un emas. Agar tortilish kuchi sirt taranglik kuchiga teng bo`lsa, muvozanat turg`un bo`ladi. Sirt taranglik koeffitsienti  $\sigma$  ning kichik o`zgarishda (masalan harorat T ning o`zgarishi) ham muvozanat buziladi. Moddaning faqat sirti-faol eritmalarda turg`in muvozanat kuzatiladi.

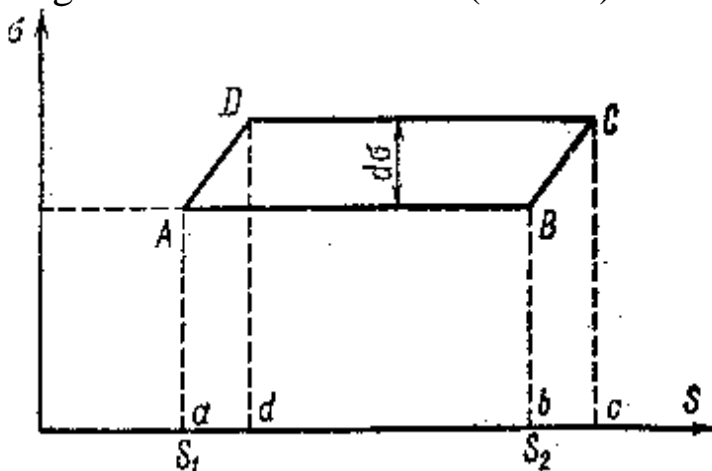
Suyuqlik sirt taranglik koeffitsienti katta oraliqlarda o`zgaradi. Suv uchun  $\sigma = 73 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$ , sovunli eritma uchun  $\sigma = 45 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$ , efir uchun  $\sigma = 23 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$ , eritilgan tuzlar uchun  $\sigma = 10^{-3} \text{ N/sm}$  eritilgan metallar uchun  $\sigma = 10^{-2} \text{ N/sm}$  masalan, erigan platina uchun  $\sigma = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ N/sm}$  bo`ladi. Siqilgan gazlar uchun  $\sigma$  katta emas, masalan: suyuq azot uchun  $\sigma = 8 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$ . Har xil suyuqliklar uchun  $\sigma$  ning qiymati 1 dan 2000 gacha bo`ladi.

Sirt taranglik kuchining asosiy xossalaridan biri suyuqlik sirtini qisqarishiga intilishidir. Bunda *suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi, agar og`irlik kuchi to`squinlik qilmasa*. Og`irlik kuchi ta`sirini yo`qotish

uchun suyuqlik boshqa bir xil zichlikdagi suyuqlikka solinadi. Bunda solingan suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi.

### *Sirt tarangligining haroratga bog'liqligi*

Termodinamikaning 2 qonunidan foydalanib, uni yuqoridagi tajribaga qo'llaymiz (3-rasm) hodisa manzarasini soddalashtirish uchun plyonka toza suyuqlikka tegishli deb hisoblaymiz. Avvaliga plyonkani tortib, keyinchalik qisqarishga imkon berib, uni Karno siklini bajarishga majbur qilamiz. Plyonkaning boshlang'ich holati  $\sigma S$  koordinatada A nuqtada tasvirlanib, unga T harorat mos kelsin (4-rasm).



*4-rasm. Sirt taranglik koeffitsientining haroratga bog'liqligini aniqlash uchun.*

Plyonkani izotermik tortib  $\Delta S = S_2 - S_1$  yuzga o'sishini hosil qilamiz va buning uchun  $\Delta Q$  issiqlik miqdori sarflansin. Bu holda bajarilgan ish  $dA = \sigma \Delta S$ ; plyonkaning yangi holati B nuqtada tasvirlangan. Rasmda bu ish  $ABS_2S_1$  yuzada tasvirlangan. Izotermik tortilishda sirt taranglik koeffitsienti qiymati o'zgarmaydi. Plyonka B holatga o'tganda uni adiabatik tortamiz. Cheksiz kichik tortilishda suyuqlik harorati  $dT$  kattalikka kamayadi va sirt taranglik koeffitsienti  $d\sigma$  ga oshadi. Plyonkaning yana bir holati rasmda C nuqtada tasvirlangan bo'lsin. Endi plyonkani D holatgacha izotermik qisqartirishga yo'l beramiz. Bunda qisqarish adiabatik bo'lib, plyonka to A boshlang'ich holatga kelguncha davom etadi. Plyonkaning adiabatik cho'zilish ishi  $bBCc$  yuzaga teng, izotermik qisqarish ishi  $cCdD$  yuzaga teng, adiabatik qisqarish ishi  $dDAa$  yuzaga teng. Siklning bajargan ishi plyonka qisqarishidagi ish farqiga va plyonka uzayishiga bajarilgan (ABCD yuz) ishga teng bo'ladi. Isitkichdan olingan issiqlik miqdori  $dQ$ ; siklning foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta = - \frac{(S_2 - S_1) d\sigma}{dQ} \quad (1)$$

Minus ishora plyonka qisqarishida issiqlik miqdori ajralishi bilan bog'liq. Ideal Karno sikli formulsini qo'llab,

$$\eta = - \frac{\Delta S d\sigma}{dQ} = \frac{dT}{T} \quad (2)$$

hosil qilamiz.

$T_1 - T_2 = dT$  yoki plyonka birlik sirtini hosil qilish uchun bajargan ish.

$\frac{dQ}{dS}$  nisbatni  $r$  orqali belgilab olsak, u holda

$$\frac{d\sigma}{dT} = - \frac{r}{T} \quad (3)$$

Shunday qilib, **haroratning oshishi bilan sirt taranglik koeffitsienti kamayadi va kritik huqtada nolga teng bo'ladi.**

### ***Ho'llovchi va ho'llamovchi suyuqliklar***

Bir suyuqlik tomchisining ikkinchi suyuqlik sirtidagi o'zini tutishini ko'rib chiqamiz (5-rasm). Suyuqliklar o'zaro aralashmasliklari kerak. Tomchisi yengilroq bo'lgan 2 suyuqlik, tomchisi og'irroq bo'lgan 1 suyuqlikka tushirilgan bo'lsin. U holda suyuqlik tomchisi linza shaklini hosil qiladi. Tomchi chegaralariga suyuqliklar 1 va 2 hamda havo ((gaz) 3) ta'sir ko'rsatadi. Ikki muhit chegarasi sirtida, shu sirtni qisqartirishga intiluvchi sirt taranglik kuchi hosil bo'ladi. Shuning uchun tomchi aylanasining birlik uzunligiga sirt taranglik koeffitsiyentiga son jihatidan teng bo'lgan uchta kuch ta'sir etadi.  $\sigma_{12}$  – ikki suyuqlik chegarasida,  $\sigma_{13}$  – birinchi suyuqlik va havo chegarasida,  $\sigma_{23}$  – ikkinchi suyuqlik va havo chegarasida.  $\sigma_{12}$  va  $\sigma_{23}$  kuchlar tomchini siqib, uning sirtini kamaytirishga, ya'ni shaklini sferaga yaqinlashtirishga intilsa,  $\sigma_{13}$  kuch esa, aksincha, tomchini cho'zishga intiladi. Agar  $\sigma_{12}$  va  $\sigma_{13}$  kuchlar proeksiyasining yig'indisi gorizontol sirtida  $\sigma_{13}$  kuchga teng bo'lsa, u holda **tomchi muvozanatda** bo'ladi. Agar  $\sigma_{13}$  kuch  $\sigma_{12}$  va  $\sigma_{23}$  kuchlar yig'indisidan katta bo'lsa, **muvozanat holat bo'lmaydi**. Demak, **suzayotgan tomchi muvozanatda bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:**

$$\sigma_{13} < \sigma_{12} + \sigma_{23}$$

**Agar  $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$  bo'lsa, u holda tomchi muvozanatda bo'lmaydi va birinchi suyuqlik sirtiga cheksiz suzib yuradi.**

Ayrim suyuqliklar qattiq jismni ho'llasa, boshqalari ho'llamaydi.

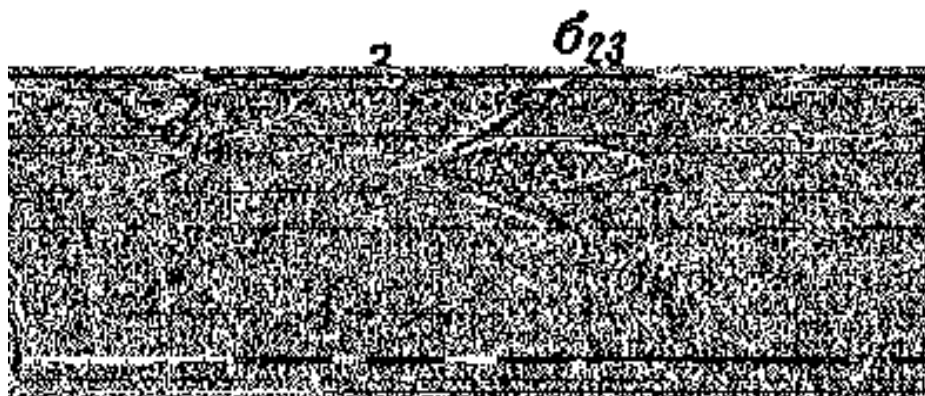
Faraz qilaylik, qattiq jism suyuqlikning gorizontaal sirti bilan A nuqtada tegib turgan bo'lsin. A nuqtada turgan suyuqlik molekulasi uchta kuch ta'sir qiladi.

$f_1$  kuch suyuqlik bug' chegarasida hosil bo'ladi, suyuqlik sirtiga urinma bo'ylab yo'nalgan, u suyuqlik sirt taranglik koeffitsiyenti  $\sigma_{sb}$  orqali aniqlaniladi.  $f_2$  kuch qattiq jism suyuqlik chegarasida vertikal pastga yo'nalgan bo'lib, sirt taranglik  $\sigma_{qs}$  bilan aniqlaniladi.

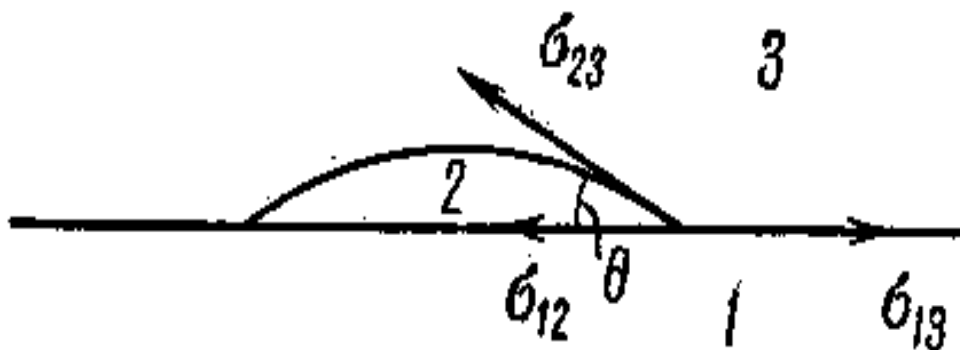
Suyuqlik berilgan qattiq jismni ho'llash yoki ho'llamasligi  $f_2$  va  $f_3$  demak,  $\sigma_{qs}$  bilan  $\sigma_{qb}$  o'rtasidagi muosabatga bog'liqdir.

Bunda ikki xil hol bo'lishi mumkin:

1)  $\sigma_{qb} > \sigma_{qs}$ ; bu shart bajarilganda suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llaydi. Natijada A nuqtada turgan suyuqlik molekulasi yuqoriga qarab harakatlanadi. Oqibatda suyuqlik sirti egrilanib botiq holga keladi (6-rasm).



5-rasm. Ho'llamovchi suyuqlik tomchisi boshqa suyuqlik sirtida.



6-rasm. Ho'llovchi suyuqlik tomchisi qattiq jism sirtida.

Suyuqlik molekulasi harakati to'xtashi uchun muvozanat bo'lishi kerak ya'ni,

$$\sigma_{qb} = \sigma_{qs} + \sigma_{sb} \cos \alpha \quad (1)$$

shart bajariladi.  $\alpha$  – suyuqlik sirtiga suyuqlik bilan qattiq jism tegishgan nuqtaga o'tkazilgan urinma bilan qattiq jism sirt orasidagi burchak bo'lib,

bu burchakni *chegaraviy burchak* deb ataladi va u hamma holda suyuqlik tomondan hisoblanadi. Ho'llaydigan suyuqliklar uchun chegaraviy burchak o'tkir ( $\alpha < \pi/2$ ) burchak bo'ladi (6-rasm).

Agar qaysidir burchak suyuqlik va qattiq jism uchun  $\alpha = 0$  bo'lsa, shu suyuqlik berilgan qattiq jismni to'la (absolyut) ho'llaydi.

1.  $\sigma_{qb} < \sigma_{qs}$ ; Bu shart bajarilganda suyuqlik qattiq jismni ho'llamaydi. Bunda suyuqlik sirti qavariq holga keladi (7-rasm), bu holda muvozanat bo'lishi uchun

$$\sigma_{qs} = \sigma_{qb} + \sigma_{sb} \cos(180^\circ - \alpha) \quad (2)$$

shart bajariladi.



7-rasm. Ho'llamovchi suyuqlik tomchisi qattiq jism sirtida.

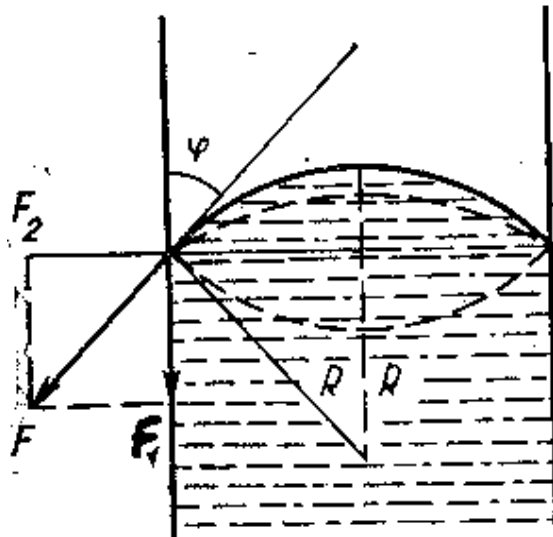


8-rasm. Ho'llamovchi suyuqlik kichik teshiklardan oqmaydi.

Shunday qilib, qattiq jismni suyuqlik ho'llamasa chegaraviy burchak o'tmas ( $\alpha > \pi/2$ ) bo'lib, mutlaqo (absolyut) ho'llanmaydigan suyuqliklar uchun  $\alpha = 180^\circ$  ga teng.

### *Laplas formulasi. Kapillyarlik*

Shunday qilib, suyuqlik ho'llovchimi yoki ho'llovchi emasmi bundan qat'iy nazar suyuqlik sirti egri (qavariq yoki botiq) bo'lar ekan.



9-rasm.

Suyuqlik sirtining egriligi natijasida suyuqlikda **Laplas bosimi** deb nomlangan bosim vujudga keladi. Shu hodisa bilan tanishib chiqaylik.

Faraz qilaylik, radiusi  $r$  bo'lgan silindrsimon idishda ho'llanmaydigan suyuqlik bo'lsin. Bu suyuqlik sirti egrilik radiusi  $R$  bo'lgan sferaning bir qismi bo'lsin (9- rasm).

Suyuqlik sirt taranglik kuchi  $F$  bo'lsa, uning tashkil etuvchilari  $F_2$  idish devoriga tik yo'nalgandir,  $F_1$  suyuqlik ichki tomoniga tik yo'nalgandir. Bunday  $F_1$  kuchlar perimetri bo'yicha ta'sir qilib, bu kuchlar yig'indisi  $\Sigma F_1$  suyuqlik kesim yuzi  $\pi r^2$  ga ta'sir qilib bosim hosil bo'ladi:

$$P = \frac{\sum F_1}{\pi r^2} \quad (1)$$

9-rasmdan  $F_1 = F \cos \varphi$ ;  $F = 2\pi r \sigma$  ekanini hisobga olsak,

$$P = \frac{2\pi r \sigma}{\pi r^2} \cos \varphi = \frac{2\sigma}{r} \cos \varphi \quad (2)$$

$\cos \varphi = \frac{r}{R}$  ekanini hisobga olsak,

$$P = \frac{2\sigma}{R} \quad (3)$$

bo'ladi. Bu formulaga **Laplas formulasi** deyiladi va **sirt taranglik koeffitsiyenti, sirt egrilik radiusi  $R$  bo'lgan suyuqlikda hosil bo'layotgan qo'shimcha bosimni ifodalaydi.**

Ho'llovchi suyuqlik uchun ham bu formula o'rinli bo'lib, bosim kuchi suyuqlik ichidan sirt tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Shunday qilib, **Laplas bosimi hisobiga ho'llovchi suyuqliklar cho'zilsa ho'llamaydigan suyuqliklar siqiladi.**

Agar ichki radius  $R_1$ , tashqi radiusi  $R_2 \approx R_1 \approx R$  bo'lgan qatlamli pufakcha qaralayotgan bo'lsa, Laplas bosimi quyidagicha ifodalanadi:

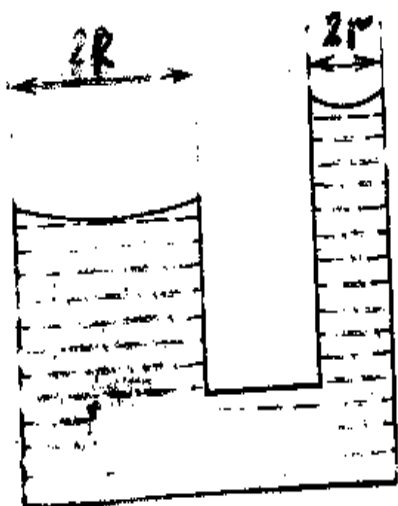
$$P = \frac{2\sigma}{R_2} + \frac{2\sigma}{R_3} = \frac{4\sigma}{R}$$

Agar suyuqlik sirti egrilik radiusi  $R_1$  va  $R_2$  bo'lgan tekislikdan iborat bo'lsa, Laplas bosimi  $P = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ , silindrik sirt uchun biri cheksiz bo'lganligidan  $R_1$  yoki  $R_2$  dan biri cheksiz bo'lganligidan,  $P = \frac{\sigma}{R}$  bo'ladi.

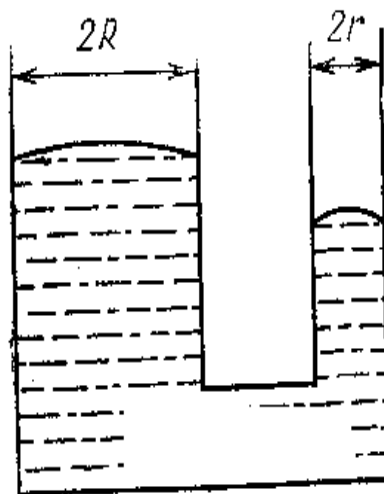
Agar ingichka naychani keng idishdagi suyuqlikka tushirsak, bu ikki idish o'zaro tutash idish bo'lib qoladi. Ana shu tutash idishlardagi suyuqlik ustuni balandligiga Laplas bosimi qanday ta'sir qilishini ko'raylik.

Laplas formulasi  $P = \frac{2\sigma}{r} \cos \varphi$  dan ko'rinadiki, tutash idishlarni hosil qilayotgan naychalardan qaysi birining radiusi kichik bo'lsa, shu qismdagi suyuqlikka bo'layotgan bosim katta bo'ladi. Faraz qilaylik, naychalardan birining radiusi  $R$ , ikkinchisini  $r$  bo'lsa (6-rasm), hosil bo'layotgan Laplas bosimi mos ravishda  $P_1 = \frac{2\sigma}{R} \cos \varphi$  va  $P_2 = \frac{2\sigma}{r} \cos \varphi$  bo'ladi. Naycha uchlari ochiq bo'lsa, keng naychadagi suyuqlikka ta'sir qilayotgan bosim  $P_1 = \frac{2\sigma}{R} \cos \varphi + P_{\text{atm}}$  ingichka naychadagi suyuqlikka ta'sir qilayotgan bosim  $P_2 = \frac{2\sigma}{r} \cos \varphi + P_{\text{atm}}$  bo'ladi. Suyuqlik muvozanatda bo'lsin uchun bu ikki tomonga bo'layotgan bosim teng bo'lishi kerak.

Agar  $R \gg r$  desak, u vaqtd ingichka naychadagi Laplas bosimi katta bo'lib,  $2\sigma \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \cos \varphi$  bosim farqi hosil bo'ladi. Agar suyuqlik ho'llaydigan bo'lsa, bu bosim kuchi farqi suyuqlik ichidan tashqari tomonga yo'nalgan bo'lganligidan, ingichka naychadagi suyuqlik sathi yo'g'on naychadagi suyuqlik sathidan yuqori bo'ladi (10-rasm).



10-rasm.

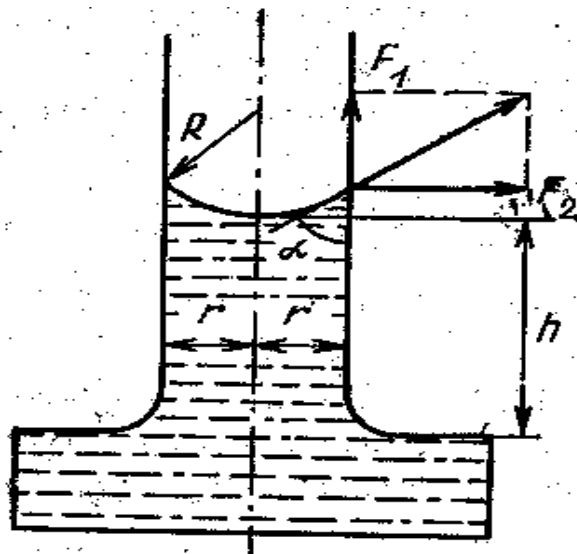


11-rasm.



Agar suyuqlik ho'llamaydigan bo'lsa, bosim farqi suyuqlik uchun tomon yo'nalaganligidan ingichka naychadagi suyuqlik sirti pastroq bo'ladi. (11-rasm). Shundagina Paskal qonuni bajarilib, suyuqlik muvozanatda bo'ladi.

Suyuqliklar sirti balandligiga nimaga bog'liqligini ko'raylik. Suyuqlik sirtlari orasidagi balandlik shunday bo'lishi kerakki, bu balandlikka mos kelgan suyuqlik ustuning gidrostatik bosimi, egriliklari har xil bo'lgan sirtlarda hosil bo'layotgan Laplas bosimlari farqiga teng bo'lishi kerak,



12-rasm.

(12-rasm) ya'ni:

$$\frac{2\sigma}{r} \cos \varphi - \frac{2\sigma}{R} \cos \varphi = \rho gh$$

Agar  $R \rightarrow \infty$  bo'lsa,

$$\frac{2\sigma}{r} \cos \varphi = \rho gh \quad (4)$$

bo'ladi. Bu tenglikdan:

$$p = \frac{2\sigma}{\rho nr} \cos \varphi \quad (5)$$

Bu formula **Jyuren formulasi** deb ataladi. Bu formuladan ko'rinadiki, ayni bir suyuqlik radiusi kichik bo'lgan naychalarda balandroq ko'tarilar ekan. Shunday kichik radiusga ega bo'lgan naychalarga **kapillyar naychalar** deyiladi. Ularda suyuqlikning ko'tarilishi yoki pastga tushish hodisasi **kapillyarlik hodisasi** deyiladi. Kapillyarlik kuzatilishi uchun kapillyar naychalar diametri juda kichik, millimetr ulushlariga teng bo'lishi kerak. Shundagina suyuqlik sirti gorizont (Laplas bosimi nol) bo'lmay, uning egrilik radiusi naycha radiusiga deyarli teng (Laplas bosimi katta) bo'ladi.

Kapillyarlik hodisasi tabiatda keng tarqalgan bo'lib, ko'pgina jarayonlarda hal qiluvchi rolni o'ynaydi.

Masalan, *kapillyarlik asosida yerdagi suyuqlik o'simlikning shox va barglariga ko'tariladi. To'qimalar kapillyar naychalarni hosil qiladi. Daraxt ildizida kapillyar naychalar bo'lib, bular orqali suyuqlik ko'tariladi va o'simlik tanasi bo'yicha tarqaladi.*

**Qotgan yerda kapillyar naychalari hosil bo'lib, ulardan chuqurlikdagi suv ko'tarilib, bug'lanish sodir bo'ladi.**

Tez bug'lanishni oldini olish uchun yer haydalib, tekislanadi, shu bilan kapillyar naychalar buziladi.

Yerdagi namlik imorat devorlari bo'yicha ko'tarilganligini ko'pchilik kuzatadi. Bu hodisaning sababi ham kapillyarlikdir.

Qon tomirlari kapillyar vazifasini o'tab, qon aylanishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar ham kapillyarlik asosida bo'ladi.

### ***Bug'lanish. Kondensatsiya. To'yingan bug'. Namlik***

Molekulyar kinetik nazariyadan ma'lumki, suyuqlik molekulalari betartib issiqlik harakatida bo'ladi. Ayrim molekulalarning tezligi kattaroq bo'lsa, boshqalariniki kichikroq bo'lib, molekulalarining kvadratik o'rtacha tezligi suyuqlik haroratining qiymatiga mutanosib bo'ladi. Molekulalar betartib harakat qilishi natijasida suyuqlik ichki qismidagi molekulalar suyuqlik sirtiga kelib, suyuqlik sirtidagi molekulalar bilan o'rin almashishadi. Shunday qilib, suyuqlik sirtidagi va ichki qismidagi molekulalar uzluksiz almashinib turadi.

Suyuqlik ichki qismidan suyuqlik sirtiga kelgan molekulalar suyuqlikni tashlab ketishi mumkinmi? Suyuqlik ichidagi molekula suyuqlik sirtiga kelib, undan chiqib ketishi uchun ma'lum bir miqdorda ish bajarishi kerak. Bu ish molekulalar ta'sirini yengishga sarflanib, ***bug'lanish ishi*** ( $A_6$ ) deb yuritiladi. Bu ish molekulalarning kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Kinetik energiya tezlikka bog'liqligini hisobga olsak, molekula bug'lansin uchun umuman tezligi emas, shu tezlikni suyuqlik sirtiga tik tashkil etuvchisi  $v_n$  rol o'ynaydi. Shunday qilib, qaysi molekula uchun

$$\frac{m v_n^2}{2} > A_b \quad (1)$$

***shart bajarilsa shu molekula suyuqlikni tashlab ketadi.***

Suyuqlikdan chiqqan har bir molekula o'zi bilan  $\varpi = \frac{3}{2}kT$  issiqlik harakati energiyasini olib ketar ekan, natijada suyuqlik soviydi.

Shunday qilib, *o'zgarmas haroratda suyuqlik big'lanishi uchun unga tashqaridan energiya berib turilishi kerak. Bu energiya suyuqlik haroratini ko'tarmay, bug'lanish ishiga sarflandi.*

Shuning uchun bu energiyani *yashirin ichki bug'lanish issiqligi* deb yuritiladi. Bu issiqlikni  $\lambda_i$  bilan belgilaylik .

Bu ishdan tashqari suyuqlikda ma'lum  $V_c$  hajmni egallab turgan molekulalar bug'langanda ularning hajmi  $V_b$  bo'lib qoladi. Bu hajm o'zgarishi bug' bosimi ( $p$ ) ostida bo'ladi. Bunda bajarilgan ish  $p(V_b-V_c)$  bo'lib, bunga ekvivalent issiqlikni *tashqi bug'lanish issiqligi* deyiladi.

Shunday qilib, umumiy bug'lanish issiqligi ichki va tashqi bug'lanish issiqliklarining yig'indisidan iborat, ya'ni:

$$\lambda = \lambda_i + P(V_b - V_c) \quad (2)$$

*1 kg massali suyuqlik o'zgarmas haroratda bug'lanishi uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdorini solishtirma bug'lanish issiqligi deyiladi.*

Agar 1 kilomol suyuqlik o'zgarmas haroratda suyuqlikga ayulantirilayotgan bo'lsa, buning uchun kerak bo'lgan issiqlikni *molyar bug'lanish issiqligi* deyiladi.

(1) tengsizlik hamma molekulalar uchun ham o'rinli bo'lavermaydi. Shuning uchun ham suyuqlik ichidan suyuqlik sirtigacha kelgan molekulalarni bir qismi yana suyuqlik ichiga qaytadi.

Suyuqlik sirtining birlik yuzasidan birlik vaqtda chiqayotgan molekulalar soni *bug'lanishning intensivligini* ko'rsatadi. Suyuqlik harorati qancha baland bo'lsa, ( $T < T_{kp}$ ) bug'lanish intensivligi ham shuncha katta bo'ladi.

Bug' tomondan suyuqlik tomonga kelayotgan molekulalar sirdan deyarli qaytmay suyuqlikka o'tadi. Har bir birlik yuza orqali birlik vaqtda bug'dan suyuqlikka o'tayotgan molekulalar soni *bug'ning kondensatsiyalanish intensivligini* ko'rsatadi.

Agar yopiq idishda yetarli darajada suyuqlik bo'lsa, suyuqlikning hammasi bug'lanmaydi. Berilgan haroratda shunday holat vujudga keladiki, suyuqlikdan bug'ga o'tayotgan molekulalar soni kondensatsiyalanayotgan molekulalar soniga teng bo'lib qoladi. Bu holatni *suyuqlik va bug' o'zaro dinamik muvozanatdagi holat* deb yuritiladi. Dinamik muvozanat holatida suyuqlik va bug' massasi o'zgarmas bo'ladi. O'z suyuqligi bilan dinamik muvoznatda bo'lgan bug'ni *to'yingan bug'* deyiladi.

Harorat ortsa, bug'lanish, demak, kondensatsiya intesivligi ham ortadi. Harorat qancha yuqori bo'lsa, to'yingan bug' zichligi, demak, bosimi ham shuncha katta bo'ladi. Berilgan suyuqlik uchun berilgan

haroratda uning to'yingan bug'i bosimi o'zgarmas bo'lib, bug'ning egallagan hajmiga bog'liq emas. Shuni aytish kerakki, bug'lanish sirtining katta-kichikligi to'yingan bug' bosimi kattalaigiga ta'sir qilmaydi va faqat dinamik muvozanatni sodir bo'lish vaqtiga ta'sir qiladi. Bug'lanish harorati qncha yuqori bo'lsa, yashirin bug'lanish issiqligi shuncha kichik bo'ladi va kritik haroratda u nolga teng bo'ladi. To'yingan bug' bosimi esa kritik haroratda eng katta bo'ladi.

Bug'ga aylanish va kondensatsiya hodisasi namlikni aylanishi va issiqlik almashish jarayonida katta rol o'ynaydi. Suv havzalari sirtidan suvning bug'lanishi oqibatida atmosferada hamma vaqt suv molekulari mavjuddir. *Atmosfera tarkibida suv molekularining bo'lishiga namlik deyildi. Atmosferadgi bug'ning kondensatsiyalanishi natijasida Yer yuzasida shudring (salqin kunlarda qirov) hosil bo'ladi. Yer qatlamiga yaqin joylarda tuman, atmosferaning yerdan yuqoriroq qismlarida bulut hosil bo'ladi.*

Bug'lanish faqat suv sirtidagina bo'lmay, o'simlik bargi va odam tanasi sirtidan ham bo'ladi. Masalan, *odam organizmidan ham sutkada bir kilogrammdan ikki kilogrammgacha suv bug'lanadi.*

Atmosferadagi suv bug'larining miqdoriga qarab havo namligi o'zgaradi.



*12a-rasm. Havodagi suv bug'lari va namlikning haroratga bog'liqligi.*

Havoning namligi quyidagi tavsiflar bilan aniqlaniladi:

1) Absolyut namlik ( $P_a$ ) - havoning birlik hajmidagi suv bug'i miqdori bilan tavsiflanadi va  $kg/m^3$  larda o'lchanadi.

2) Maksimal namlik  $P_\mu$  - berilgan haroratda to'yingan bug'ga tog'ri kelgan havoning hajm birligidagi suv bug'i miqdori;

3) Nisbiy namlik (B) - absolyut namlik maksimal namlikning qancha qismini tashkil etganligini ko'rsatib, foiz hisobida ifodalaniladi;

$$B = \frac{P_a}{P_\mu} \cdot 100 \%$$

4) Shudring nuqtasi - bu shunday haroratki, bu haroratda suv bug'i to'yingan bo'lib qoladi. Shudring nuqtasida havodagi suv bug'larining kondensatsiyalanishi boshlanadi.

### *Suyuqliklarning qaynashi*

Qaynash bu shunday jarayonki, bug'lanish faqat suyuqlik sirtidagina intensiv bo'lmay, balki suyuqlikning butun hajmi bo'yicha suyuqlikdagi bug' pufakchalari ichida ham bug'lanish bo'ladi. Qaynayotgan suyuqlikda bug' pufakchalari o'lchamligi tez ortadi va suyuqlik sirtiga chiqib tez yoriladi va o'ziga xos tovush chiqaradi.

Bug' pufagi suyuqlik sirtiga chiqishi uchun bu pufak ichidagi to'yingan bug' bosimi  $p_1$  tashqi bosim  $p_0$  bilan gidrostatik bosim  $\rho gh$  va Laplas bosimlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak. Agar pufak ichida havo va bug' bo'lsa, u vaqtda pufak ichidagi bosim pufakdagi to'yingan bug' bosimi  $P_T$  va havo bosimi  $\frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V}$  dan iborat bo'ladi. Shunday qilib, qaynash shunday haroratda bo'ladiki, bu haroratda quyidagi shart bajarilishi kerak;

$$P_T + \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V} \geq P_0 + \rho gh + \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

Bu formulada  $r$  - pufakcha radiusi,  $\rho$  - suyuqlik zichligi,  $h$  - pufakchadan suyuqlik sirtigacha bo'lgan balandlik,  $V$  - pufakcha hajmi,  $\sigma$  - suyuqlik sirt taranglik koeffitsiyenti. Agar pufakcha ichida havo bo'lmasa, (1) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$P_T \geq \rho gh + \frac{2\sigma}{r} + P_0 \quad (2)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, tashqi bosim ortishi bilan suyuqlikda qaynash sodir bo'lishi uchun to'yingan bug' bosimi ( $P_T$ ) ham ortishi kerak. To'yingan bug' bosimi ortishi uchun suyuqlik harorati ortishi kerak. Shunday qilib, tashqi bosim ortishi bilan qaynash harorati ham ortadi va

aksincha. Yuqori tog'lik joylarda atmosfera bosimi kam bo'lganligidan suv 100°S dan past haroratda qaynaydi; masalan 5 km balandlikda suvning qaynash harorati 82°S atrofida bo'ladi.

Umuman, *suyuqlikning qaynashida unda erigan havo pufakchalari katta rol o'ynaydi. Agar suyuqlik ana shunday havo pufakchalridan va changlardan tozalansa, uning qaynash harorati ham ko'tarilib, o'ta qizigan suyuqlik bo'lib qoladi.*

### *Shiller va Tomson paradoksi*

Tiqin bilan og'zi mahkam berkitilgan idishga suv solingan bo'lsin. Bir necha vaqt o'tgandan so'ng suyuqlik va bug' orasida dinamik muvozanat ro'y beradi. Idish to'yingan bug' bilan to'ladi.

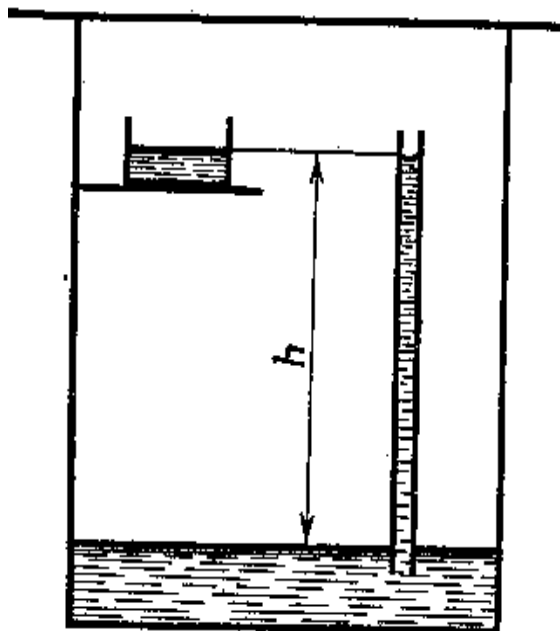
Idishga tayoqchada joylashgan kichkina suvli idishchani joylashtiramiz (13-rasm).

Bunday holatda idishning yuqori qismida suv va bug' orasida muvozanat bo'lmaydi. Idish tubida bosim  $P_0$  va idish yuqorisida bosim

$$P_h = P_0 - \rho_b g h \quad (1)$$

bo'ladi.

Muvozanat yuzaga kelgan  $h$  balandlikda bosim to'yingan bug' bosimidan kichik bo'ladi, chunki molekulaning bug'lanishi kondesatsiyaga nisbatan katta. Natijada idish yuqorisidagi barcha suv bug'lanadi.



13-rasm. *Shiller va Tomson paradoksini tushuntirish uchun.*

Faraz qilaylik, quyidagi tajriba o'tkazilayotgan bo'lsin. Idishga kapiller nay qo'yib uni shunday joylashtiramizki, suv  $h$  balandlikka

ko`tarilsin (13-rasm) va nayda kichik turbina joylashtiramiz. Yuqorida suv bug`lanadi, natijada uzluksiz suv toklari hosil bo`ladi va turbinani aylantiradi, ya`ni “abadiy dvigatel” yuzaga keladi.

Suyuqlik egrilik sirti ustidagi bug` nisbatan elastikligini mulohaza qilaylik, bunga ishonch hosil qilish mumkinki, *nayda suvning oqimi yuzaga kelmaydi, chunki kichik bosimlarda suyuqlikning yassi sirtiga nisbatan egri sirtida dinamik muvozanat yuzaga keladi; bug`lanish kuzatilmaydi.*

*Bu bosimni hisoblash mumkin. Jyuren qonuniga asosan*

$$hg = \frac{2 \cdot \sigma}{r \cdot \rho_c}$$

Buni (1) formulaga qo`ysak

$$P_h = P_0 - \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{\rho_b}{\rho_c} \quad (2)$$

Shunday qilib, bu yerda “abadiy dvigatel” kuzatilmaydi. *Suyuqlik egrilik sirti ustida dinamik muvozanat yuzaga kelish bilan nayda suvning oqishini to`xtatadi.*

Suyuqlikning yassi va egri sirlari ustida bosimning har xil bo`lishini *angliyalik Tomson va kiyevlik Shiller* aniqlagan.

### *Fazaviy o`tishlar*

Moddalar uch agregat holatda qattiq, suyuq, gaz holatida boladi. Moddalar holat parametrlari o`zgarsa, bir agregat holatdan ikkinchi agregat holatga o`tadi. Moddaning holat parametrlariga qarab uch agregat holatidan istalgan ikkitasi yoki uchta agregat holat o`zaro muvozanatda bo`lishi mumkin.

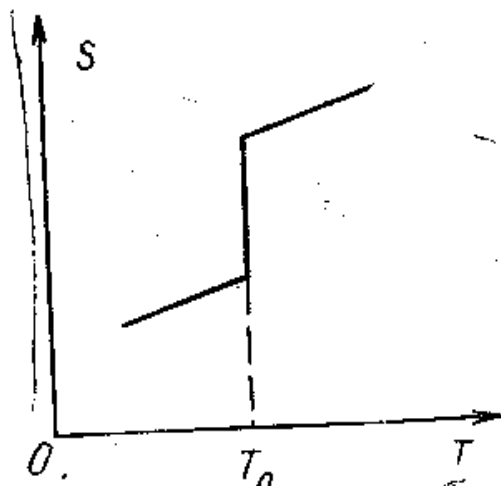
Fazaviy o`tishlar ikki xil: birinchi va ikkinchi tur fazaviy o`tishlar bo`ladi. Birinchi tur fazaviy o`tishlarda yashirin issiqlik yutiladi yoki chaqiriladi hamda solishtirma hajm (zichlikka teskari bo`lgan kattalik) sakrab o`zgaradi (uzluksiz o`zgarmaydi). Bunday fazaviy o`tishlarga erish, kristallanish, bug`lanish, kondensatsiyalanish,  $\alpha$ -temirdan  $\gamma$ -temirga o`tish va boshqa jarayonlar misol bo`la oladi.

Fazaviy o`tishlarni qaytuvchan jarayon deb qarajak, unga termodinamikaning ikkinchi qonuni qo`llash mumkin:

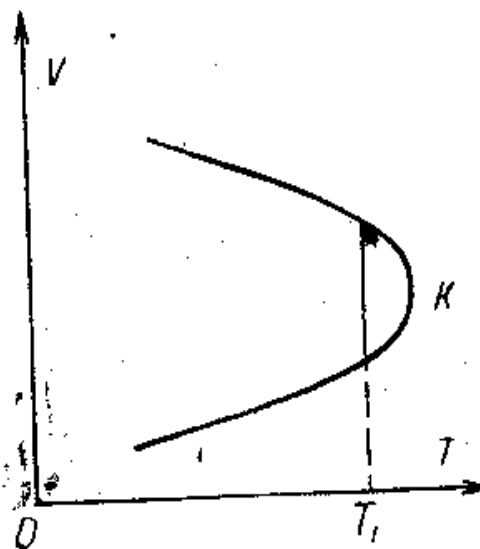
$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (1)$$

Agar  $dQ$  musbat bo`lsa, ya`ni jism qattiq holatdan suyuq holatga yoki suyuq holatdan gaz holatga o`tayotgan bo`lsa, *entropiya ortadi*. Kristallanish va kondensatsiyalanishda  $dQ$  manfiy bo`lib, *entropiya*

*kamayadi.* Demak,  $S_2 - S_1 = 0$ . Shunday qilib, birinchi tur fazaviy o'tishlarda entropiyaning uzluksiz o'zgarishida uzilish bo'ladi (14-rasm). Birinchi tur fazaviy o'tishlarda solishtirma hajm uzluksizligi uziladi, ya'ni  $v_b - v_s = 0$ .



14-rasm.



15-rasm.

Bu hol 15-rasmda suyuqlik-to'yingan bug' sistemasi uchun grafik ravishda keltirilgan bo'lib,  $T_1$  harorat birinchi tur fazaviy o'tish haroratiga to'g'ri keladi.

Ko'rsatish mumkinki, o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'im, hajmiy kengayish va siqilish koeffitsiyentlari birinchi tur fazaviy o'tishda cheksizlikka intiladi.

**Ikkinchi tur fazaviy o'tish** shunday jarayonki, bu jarayon davomida issiqlik yutilishi ham chiqarilishi ham kuzatilmaydi va solishtirma hajm o'zgarishi sodir bo'lmaydi. Bunday jarayon uchun  $dS = S_2 - S_1 = 0$ ;  $S_2 = S_1$  bo'ladi. Demak, ikkinchi tur fazaviy o'tishlarga entropiya uzluksiz o'zgaradi. Ikkinchi tur fazaviy o'tishga misollar keltiraylik.

1. Kyuri haroratida moddalarning ferromagnit holatidan paramagnit holatiga o'tishidir. Eksperimentlar shuni ko'rsatdiki, bu o'tishda entropiya va solishtirma hajm o'zgarishlari nolga teng bo'lib, hajmiy kengayish  $\alpha$ , izotermik siqilish  $\beta_t$  koeffitsiyenti va o'zgarmas bosimda issiqlik sig'imi  $C_p$  lar sakrab o'zgarishga uchraydi.

2. Boshqa misol, 1911-yilda Kamerling-Onnes tomonidan ochilgan metallarning o'ta o'tkazuvchanlik holati. Bu holat shunday holatki, o'tkazgichlarning harorati o'ta pasaytirilsa, ularning aktiv qarshiligi nolga teng bo'lib qoladi. Tajriba ko'rsatadiki, metallarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishida entropiya va solishtirma hajm o'zgarishi



$(\Delta S=0)$  ( $\Delta v=0$ ) nol bo'ladi hamda  $\alpha$ ,  $\beta_t$  koeffitsiyentlari va  $C_p$  ni sakrab o'zgarishi kuzatiladi.

3. Yana bir misol bu o'ta oquvchanlik hodisasidir. O'ta oquvchanlik hodisasi shundan iboratki, 2,9 K haroratda suyuq geliy ikki fazaga He I va He IIga ajraladi. Bulardan He Ining yopishqoqligi deyarli nolga teng bo'lib, bu fakt geliy I ni ushlab qolib, geliy II ni ajratish imkonini beradi. Geliy I ni Geliy IIga o'tishi  $\alpha$ ,  $\beta_t$  va  $\Delta v=0$  larning sakrab o'tishi bilan kuzatiladi. Demak, ikkinchi tur fazaviy o'tish sharti bajariladi.

### ***Suyuqlik va bug' muvozanati diagrammasi***

Real gazlar holat tenglamasini o'rganganda biz suyuqlik va gaz (bug') o'rtasida muvozanat bo'lishi mumkinligi to'g'risida fikr yuritgan edik. Agar sistemada suyuqlik va bug' bo'lsa, holatlar o'rtasida faqat issiqlik almashishgina bo'lmay, molekulalar uzluksiz ravishda suyuqlikdan bug'ga va bug'dan qayta suyuqlikka o'tib turadi.

Endi savol tug'iladi, agar sistemaning ayrim qismlari orasida zarra almashishi bo'layotgan bo'lsa, qanday shart bajarilganda bu sistemaning muvozanati bo'ladi?

Agar sistemadagi zarrachalar soni o'zgaramayotgan bo'lsa, ichki energiya o'zgarishi

$$dU = TdS - pdV \quad (1)$$

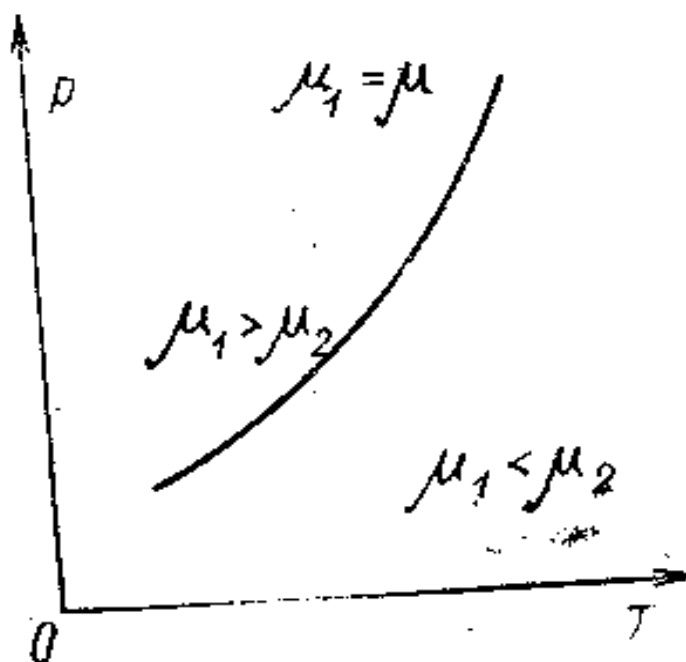
Agar zarrachalar soni  $N$  o'zgarayotgan bo'lsa,

$$dU = TdS - pdV + \mu dN \quad (2)$$

$\mu$  koeffitsiyent sistemaning *kimyoviy potentsiali* deb yuritiladi. Kimyoviy potentsialning fizik ma'nosi shuki, u bitta zarrachaga to'g'ri kelayotgan erkin energiyani ko'rsatib bosim ( $p$ ) va harorat ( $T$ ) ga bog'liqdir.

Sistemadagi ikki faza (suyuq va bug') o'rtasida muvozanat bo'lishi uchun  $T_1=T_2$ ;  $p_1=p_2$ ;  $\mu_1=\mu_2$  shart bajarilishi kerak.

Bosim ( $p$ ) va harorat ( $T$ ) o'rtasidagi munosabatni ko'rsatuvchi diagrammadagi  $\mu_1=\mu_2$  shart bajariluvchi nuqtalarning geometrik o'rnini birlashtirishdan hosil bo'luvchi chiziqqa *fazalar* (suyuqlik va bug') *muvozanati egriligi* deyiladi (16-rasm).



16-rasm.

Agar harorat va bosim shunday bo'lsaki, bunda  $\mu_1 < \mu_2$  bo'lsa, hamma molekularlar 1 fazaga, agar  $\mu_1 > \mu_2$  bo'lsa, hamma zarrachalar 2 fazaga o'tganda muvozanat sodir bo'ladi.

Endi bosimni o'zgarishi fazaviy o'tish haroratiga, masalan qaynash haroratiga qanday ta'sir qilishni ko'raylik. Bosimni o'zgarishi bilan haroratni o'zgarishi orasidagi qonuniyat

$$dT = T \frac{v_s - v_b}{\lambda} dp \quad (3)$$

formula bilan berilib, **Klapeyron-Klauzius tenglamasi** deyiladi. Bu tenglamada  $v_s$  va  $v_b$  mos ravishda suyuqlik va to'yingan bug'ning  $T$  haroratdagi solishtirma hajmi,  $\lambda$  esa solishtirma bug'lanish issiqligi.

Klapeyron-Klauzius tenglamasi istalgan birinchi tur fazaviy o'tishlarga o'rinli bo'lib, bosim o'zgarishi bilan fazaviy o'tish haroratining o'zgarishi  $dT$  ni hisoblashga imkon beradi.

Agar bu tenglamani suvning qaynashiga tatbiq qilsak, bug'ning solishtirma hajmi hamma vaqt suvning solishtirma hajmidan katta  $v_b > v_s$ , shuning uchun tenglamaning o'ng tomoni musbat bo'ladi. Demak, bosim o'zgarishi ( $dP$ ) va harorat ( $dT$ ) o'zgarishi bir xil ishorali bo'ladi. Bundan, **bosim ortishi bilan suvning qaynash harorati ortadi** degan fikrga kelamiz.

Muzning erishi qaraladigan bo'lsa, suvning solishtirma hajmi muz solishtirma hajmidan (anomaliya hisobga olinmasa) kichik. Demak, **bosim ortishi bilan muzning erish harorati kamayadi**.

Klapeyron-Klauzius tenglamasini quyidagicha yozish mumkin.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{(v_b - v_s)} \quad (4)$$

$v_b$  – bug',  $v_s$  – suyuqlikning solishtirma hajmi, past haroratlarda ( $v_b \gg v_s$ ) bug'ni ideal gaz qonunlariga bo'ysunadi deb hisoblasak bo'ladi ( $v_b = RT/P$ ). Demak, yuqoridagi tenglamadan  $\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda p}{RT^2}$ , bundan

$$d(\ln p) = -d \frac{\lambda}{RT^2}, \quad (5)$$

$$p = \frac{\text{const}}{\frac{\lambda}{e^{Rt}}} \quad (6)$$

Bundan ko'rinadiki, harorat ortishi bilan to'yingan bug' bosimi keskin ortadi va  $P(T)$  bog'lanishni tavsiflovchi egrilik kritik haroratda tugaydi.

### ***Erish va qotish. Uchlanma nuqta***

Faraz qilaylik, yopiq idishda biror miqdor suv va uning havo bilan aralashgan bug'i bo'lsin. Bu sistema bu holda ikki fazali bo'lib, suv bug'ining havo bilan aralashmasi bitta fazani, suv esa ikkinchi fazani tashkil qiladi. Agar suvga kichik muz bo'lakchasi tashlansa, sistema uch fazadan qattiq (muz), suyuq (suv) va gaz (suv bug'i va havo) lardan iborat bo'ladi. Uch fazadan iborat sistemaga biror miqdordagi suv qo'shilsa, u shu zahotiyiq suv bilan aralashib, fizik jihatdan bir jinsli bo'lgan moddani tashkil qiladi, sistemadagi fazalar soni esa o'zgarmaydi. Agar unga bir necha tomchi simob tomizilsa u suv bilan aralashib keta olmaydi. Sistemada ikkita suyuq faza vujudga keladi. Shunday qilib, bir necha suyuq va bir necha qattiq fazalar hosil qilish mumkin. Lekin har xil fazali gazlar bo'lmaydi, chunki gazlar tartibsiz harakati tufayli, o'zaro aralashib fizik jihatdan bir jinsli bo'lgan gaz moddasini, ya'ni bitta fazani tashkil qiladi. Bir necha fazadan iborat bo'lgan sistemaning harorati hamma vaqt o'zgarmas bo'lsa, sistema ***issiqlik muvozanatda***, bir-birlariga tegib turgan ikki faza chegarasidagi bosim har ikkala tomonda ham bir xil bo'lsa, bunday sistema ***mexanik muvozanatda*** deyiladi. Biroq keyingi shart ikki faza chegaralari yassi bo'lgandagina to'g'ri bo'ladi. Agar ikki faza chegarasi egri sirtidan iborat ekan (qavaqriq yoki botiq), bu sirtlar ostida vujudga keladigan qo'shimcha bosim tufayli yuqoridagi shart o'rinli bo'lmaydi. Suyuqlik va uning bug'i chegarasidagi sirtida muvozanat holatda vujudga keladigan qo'shimcha bosim Laplas formulasi orqali hisoblaniladi. Lekin bosim va haroratning ikki faza chegarasida (suyuqlik

va bug') birday bo'lishi sistema muvozanatda degan gap emas. Demak, sistemadagi fazalar o'zaro muvozanatda bo'lishi uchun bu fazalarning massalari ham har doim o'zgarib qolishi kerak, chunki bir faza ikkinchi fazaga o'tib turishi natijasida bitta faza o'sib, ikkinchi faza butunlay yo'qloib ketishi ham mumkin.

Xuddi shunday fazaviy o'zgarishlar moddalarning agregat holatlarida ham bo'ladi. ***Moddaning qattiq, suyuq va gaz holatlari agregat holatlar bo'ladi.***

Gaz holatdan qattiq yoki suyuq holatga o'tishi ***kondensatsiya*** deyiladi. Qattiq holatdan to'g'ridan-to'g'ri gaz holatga o'tish hodisasiga ***sublimatsiya yoki haydash*** deyiladi. Sublimatsiyaga misol qilib, ho'l kiyimlarning sovuqda tez qurishini va muzning bug'ga aylanishini ko'rsatish mumkin. Qattiq holatdan suyuq holatga o'tish ***erish*** va aksincha suyuq holatdan qattiq holatga o'tish ***qotish yoki kristallanish*** deb ataladi.

Har xil moddalarning kristall holatdan suyuq holatga va suyuq holatdan kristall holatga o'tishi biror miqdor issiqlikni yutishi yoki chiqarishi bilan bog'liq.

Kristall qattiq jismlarning erish va qotish harorati bo'lib, ular tashqi sharoitga juda ham bog'liqdir. Masalan, ba'zi bir moddalar eriganda ularning hajmi ortadigan bo'lsa, bunday jismlar uchun bosim ortishi bilan erish harorati ham ko'tariladi. Shunday qilib, ***erigan modda bosimi ortishi bilan yana qotib qolishi ham mumkin.***

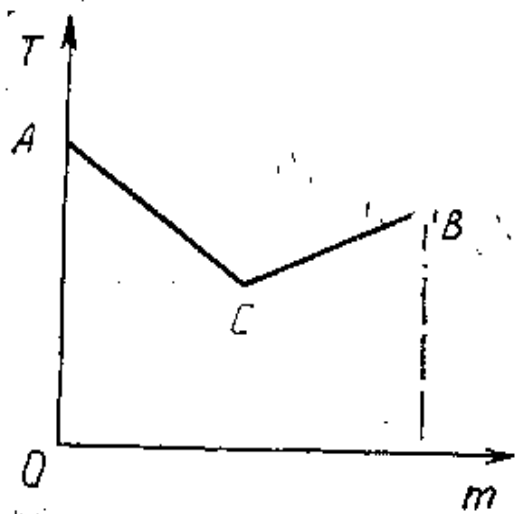
Agar modda erigan vaqtda hajm kamayadigan bo'lsa, bunday jismlarda bosim ortishi bilan kristallanish harorati pasayadi. Bosim ortishi bilan qattiq modda suyulib qoladi. Erigan vaqtda hajmi ortadigan moddalar juda yuqori bosimda, harorati kritik haroratdan yuqori bo'lganda ham qattiq agregat holatda saqlanib turishi mumkin. Masalan, xlrorli fosfor  $205 \cdot 10^6$  Pa bosim,  $102^\circ\text{S}$  haroratda ham qattiq holatda bo'ladi. Vaholanki, bosim  $75 \cdot 10^5$  Pa bo'lganda, uning kritik harorati  $50^\circ\text{S}$  bo'ladi va hokazo.

Fazaviy o'tishlarga misol qilib kondensatsiya va bug'lanishni ko'rsatish mumkin. Yopiq idishda biror miqdor suv va uning bug'i bo'lsin. Idishning hajmi o'zgarib bo'lib, harorat birday saqlansin. Molekulalar betartib harakat qilib, ikki faza chegarlangan sirtidan bug'da suyuqlikka yoki suyuqlikdan bug'ga o'tib turadi. Shunday qilib, bu ikki fazaning molekulalari uzluksiz ravishda almashinib turadi. Agar suyuqlikdan bug'ga o'tayotgan molekulalarning soni, bug'dan suyuqlikka o'tayotgan o'tayotgan molekulalarning soniga qaraganda ko'p bo'lsa, u holda suyuq fazaning miqdori kamaya borib, bu jarayon ***bug'lanish*** deyiladi. Suyuqlik ustiga bug' o'ta to'yingan yoki qizigan bo'ladi. Aksincha, agar gaz

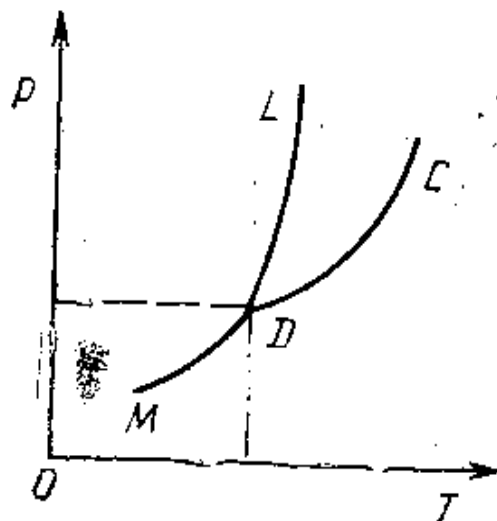
fazadan suyuq fazaga o'tayotgan molekullarning soni, suyuq fazadan gaz fazaga o'tayotgan molekullarning sonidan ko'p bo'lsa, **kondensatsiya jarayoni** ro'y beradi va nihoyat o'zaro fazalarga o'tayotgan molekullarning soni bir-biriga teng bo'lsa, **dinamik muvozanat** vujudga keladi. Bunday holda fazalar dinamik muvozanatda bo'lib, har bir fazada o'rtacha hisobda moddaning miqdori o'zgarmaydi. Suyuqlik bilan uning to'yingan bug'i, qattiq va suyuq fazalari ustida qilingan Karno siklidan foydalanib, tashqi bosimning  $dp$  ortishiga mos bo'lgan harorat o'zgarishi  $dT$  ni Klapeyron-Klaziuz tengsizligidan topish mumkin:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\lambda}{T(v_b - v_s)}$$

Bu yerda  $\lambda$  – bug'lanish issiqligi,  $v_b$  va  $v_c$  lar mos ravishda bug' va suyuq yoki suyuq va qattiq fazalarning solishtirma hajmlari va  $dp$  aralashmaga ta'sir etayotgan bosim.



17-rasm.



18-rasm.

Kristallanish yoki erish harorati moddaning tozaligiga ham bog'liqdir. Ba'zi hollarda biror moddaga ozgina miqdorda boshqa moddaning qo'shilishi erish haroratining pasayishiga sabab bo'ladi. Masalan, qotishma A va B elementlardan iborat bo'lsin deylik. Absissa o'qi bo'yicha qotishmaning miqdori, ordinata o'qi bo'yicha esa qotishma konsentratsiyasiga mos bo'lgan erish harorati ko'rsatilgan bo'lsin (17-rasm).

A va B moddalarning mos ravishda  $m_A$  va  $m_B$  bo'lib, B nuqta sof B moddaning erish harorati  $T_B$  ni ko'rsatsin deylik. U holda konsentratsiya B nuqtada  $\frac{m_B}{m_A + m_B} = 1$  ga teng. Xuddi, shuningdek A nuqtada sof A moddaning erish harorati  $T_A > T_B$  bo'lib, konsentratsiya  $\frac{m_B}{m_A + m_B} = 1$  ga teng

bo'ladi. Qotishmaning erish harorati  $C$  nuqtada  $T_C$  bo'ladi va  $T_C < T_B < T_A$  tengsizlik o'rinli bo'ladi. Mana shu nuqtaning  $C$  nuqtaga to'g'ri keluvchi tarkibi, *evtektik tarkib* deyiladi. Rasmdan ko'rinadiki, juda qiyin eriydigan (A) moddaga ham, oson eriydigan (B) moddaga ham boshqa komponentning qo'shilishi erish (kristallanish) haroratini pasaytiradi.

Berk idishda suyuqlik va uning ustida shu suyuqlikning to'yingan bug'i bo'lsin. Sistemaning hajmini o'zgarmas saqlab, uning haroratini pasaytirsak, bug'larning bosimi ham kamayib boradi. Haroratga qarab bosimning o'zgarishi (PT) diagrammada CD chiziq orqali tasvirlangan (18-rasm).

Jarayonni shu tariqa davom ettirsak, to'yingan bug' ostidagi suyuqlikning qotishi D nuqtaga tog'ri keladi. Bu nuqtadagi harorat va bosimda sistemadan issiqlik olish davom ettirilgani bilan, hajmi suyuqlik qattiq holatga o'tguncha o'zgarmaydi. Hamma suyuqlik qattiq holatga o'tgach, uning ustidagi to'yingan bug' ilgarigidek mavjud bo'ladi. Agar sistemadan issiqlik olish davom ettirilsa, harorat va bosim ham kamayadi, diagrammada bu chiziq DM bilan tasvirlangan. ***Kristallanish davomidagi sistemadan olingan issiqlikka kristallanish yoki erish issiqligi deyiladi.***

Shunday qilib, D nuqtada ikki chiziq CD va DM lar uchrashadi, ya'ni qattiq modda ustidagi to'yingan bug'ning bosimini haroratga bog'liqligini ifodalovchi DM chiziq bilan shu moddaning suyuq holatidagi CD to'yingan bug'i bosimining haroratga bog'liqligini ko'rsatuvchi CD chiziqlar kesishadi. Shu nuqtaning (D) absissasiga to'g'ri keluvchi haroratdan past haroratlarda bug' faqat qattiq jism bilan muvozanatda, undan katta haroratlarda esa suyuqlik bilan muvozanatda bo'ladi. Shu nuqtada moddaning uch holati: qattiq, suyuq va gaz fazalari o'zaro muvozanatda bo'ladi. Xuddi mana shu diagrammada  $P_D$  va  $T_D$  koordinatalar bilan ifodalangan nuqta ***uchlanma nuqta*** deyiladi. Bu nuqtada bir vaqtning o'zida moddaning uchta fazasi muvozanatda bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

Erish harorati bilan to'yingan bug' bosimi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi DL chiziq ham D nuqtadan o'tadi. 18-rasmdan ko'rinib turibdiki, bosim ortishi bilan erish harorati ham ortar ekan.

### ***Fazoviy o'tishlarda entropiyaning o'zgarishi***

Massasi  $m$  ga teng bo'lgan modda  $\lambda$  ga teng bo'lgan issiqlik, fazoviy o'tishda bir fazadan boshqasiga o'tayotgan bo'lsin.

Izotermik fazoviy o'tishda sarflangan issiqlik miqdori

$$dQ = m \lambda$$

U holda entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S = \frac{dQ}{T} = \frac{m \lambda}{T}$$

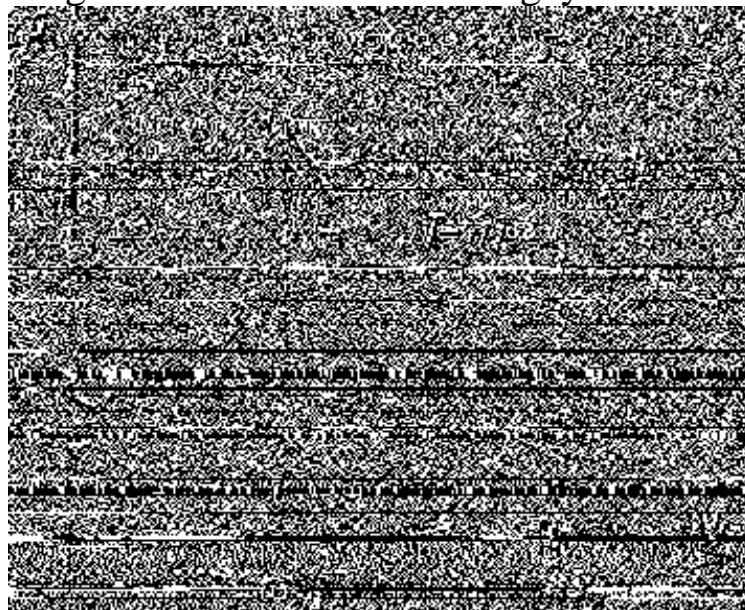
*Agar  $dQ$  musbat bo'lsa, ya'ni jism qattiq holatdan suyuq yoki suyuq holatdan gaz holatga o'tayotganda entropiya ortadi; kristallanish va kondensatsiyada entropiya kamayadi.*

### *Klapeyron-Klauzius tenglamasi*

Bosim o'zgarishining fazoviy o'tish haroratiga ta'sirini qaraymiz, masalan suyuqlik qaynash haroratiga ta'sirini Karno siklini hosil qilamiz, bunda ishchi jism bo'lib to'yingan bug'lari bo'lgan suyuqlik xizmat qiladi. Isitkich ishchi jismga  $Q_1$  issiqlik miqdori beradi va uning natijasida jism bir holatdan ikkinchi holatga izotermik va izobarik o'tishi yuzaga keladi. (19-rasm).

$Q_1$  issiqlik hisobiga doimiy  $P$  bosim ostida suyuqlikning  $m$  massasi bug'lanadi, unga esa  $\lambda$  bug'lanish issiqligi mos keladi.

U holda  $Q_1 = m \lambda$  va jarayon 1,2 tog'ri chiziq bilan tasvirlanadi. Bunday fazoviy o'tish harorati  $T$ . Keyinchalik jism holatini 2dan cheksiz yaqin 3 holatga adiabatik keltiramiz. Adiabatik jarayonda bug'lanish issiqligi sistemaning o'zidan olinadi hamda sistema harorati  $\Delta T$  ga kamayadi. Haroratning pasayishi to'yingan bug' bosimini  $dP$  qiymatga kamaytiriladi. Sistema 3 holatdan 4 holatga izotermik qisish yo'li bilan o'tkaziladi, bunda sovutkichga  $Q_2$  issiqlik beriladi, harorat  $T - dT$  ga teng. Sikl 4 holatdan 1 holatga adiabatik o'tish bilan tugaydi.



*19-rasm. Klapeyron-Klauzius tenglamasi uchun.*

Izotermik 1,2 o'tishda sistema hajmining o'zgarishi  $m(V_2-V_1)$  ga teng.

Bu yerda  $V_2-T$  haroratda to'yingan bug'ning solishtirma hajmi,  $V_1$ -suyuqlikning solishtirma hajmi.

Bosimning o'zgarishi  $dP$  cheksiz kichik kattalik bo'lgani uchun 1234 figurani  $m(V_2-V_1)$  asosli va  $dP$  balandlikli parallelogramm deb qarash mumkin. Parallelogramm yuzi siklning ishiga teng bo'ladi:

$$dQ = Q_1 - Q_2 = m(V_2 - V_1)dP$$

Qaralgan sikl qaytar Karno sikli bo'lib, uning foydali ish koeffitsienti (F.I.K.) quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{dT}{T} = \frac{V_2 - V_1}{\lambda} dP$$

bundan

$$dT = T \frac{V_1 - V_2}{\lambda} dP \quad (1)$$

**(1) tenglama Klapeyron-Klauzius tenglamasi deyiladi. Bu tenglama xohlagan 1-tur fazoviy o'tishlarda qo'llaniladi va bosim o'zgarganda fazoviy o'tish  $dT$  harorati o'zgarishini topish imkonini beradi.**

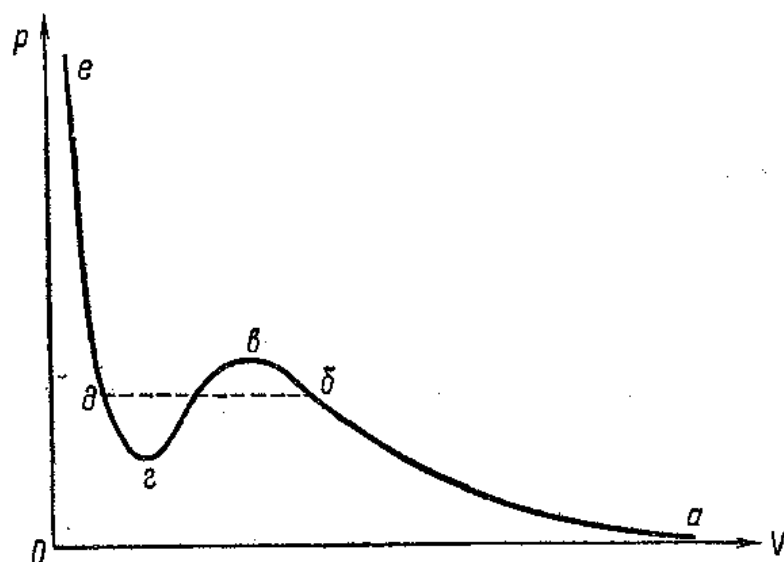
Suv qaynayotgan paytda bug'ning  $V_2$  hajmi hamma vaqt  $V_1$  hajmdan katta, shuning uchun tenglamaning o'ng tomoni doimo musbat, ya'ni  $dP$  bosim o'zgarishi va  $dT$  haroratning o'zgarishi bir xil ishorali bo'ladi. Bu shuni ko'rsatadiki, ***bosimning oshishi bilan suvning qaynash harorati ham ortadi.***

### ***Van-der-Vaals tenglamasidagi doimiy va kritik parametrlarni aniqlash***

Van-der-Vaals tenglamasidagi  $a$  va  $b$  domiyliklar hamda kritik parametrlar orasidagi bog'lanishni ko'rib chiqamiz. Buning uchun Van-der-Vaals tenglamasini batafsil (aniq) ko'rib chiqamiz.

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (1)$$





20-rasm. Van-der-Vaals tenglamasi ildizlari.

Bu tenglamaning grafiginini chizamiz (20-rasm) va unga gorizontall chiziq o`tkazamiz, ularning kesishgan nuqtalari uchta:  $V_1$ ,  $V_2$  va  $V_3$  tenglama ildizini beradi.

Bu ildizlarning hammasi aniq yoki bittasi aniq va ikkitasi mavhum yohud ildizlar bir-biriga mos kelishi ham mumkin. (1) tenglamani almashtiramiz, qavslarni ochib chiqamiz

$$PV + \frac{a}{V} - Pb - \frac{ab}{V^2} = RT;$$

tenglamaning hamma hadlarini  $V^2$  ga ko`paytirib,  $RTV^2$  ni chap tomonga o`tkazamiz:

$$PV^3 + aV - pbV^2 - ab - RTV^2 = 0;$$

Hamma hadlarni  $P$  ga bo`lamiz va  $V$  darajasining kamayishi tartibida joylashtiramiz:

$$V^3 - \left(b + \frac{RT}{p}\right)V^2 + \frac{a}{p}V - \frac{ab}{p} = 0 \quad (2)$$

Uchta ildizi bo`lgan uchinchi darajali tenglamani hosil qildik. Bu tenglama quyidagi tenglamaga teng kuchli

$$(V - C_1)(V - C_2)(V - C_3) = 0 \quad (3)$$

bu yerda  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  - tenglamaning uchta ildizi.

Uchinchi tenglamani quyidagicha almashtiramiz:

$$V^3 - (C_1 + C_2 + C_3) \cdot V^2 + (C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_1) \cdot V - C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 = 0$$

Kritik holatda kondensatsiya chizig`i yo`qoladi, ya`ni u nuqtaga aylanadi. Buning ma`nosi shuki, barcha ildizlar teng bo`ladi ( $C_1 = C_2 = C_3 = V_k$ ), u holda

$$V^3 - 3V_k V^2 + 3V_k^2 V - V_k^3 = 0 \quad (4)$$

(4) tenglama (3) tenglamaga teng kuchli.

Bundan  $V$  ning darajalariga mos keluvchi koeffitsiyentlarni tenglashtirib, hosil boʻlgan uchta tenglamadan  $a$  va  $b$  doimiyliklar hamda kritik parametrlar orasidagi bogʻlanishni topish mumkin. Koeffitsiyentlarni tenglashtirib, quyidagini olamiz

$$b + \frac{RT}{P_k} = 3V_k^2; \frac{a \cdot b}{P_k} = V_k^3; a/P_k = 3V_k^2$$

Hosil boʻlgan uchinchi tenglamani ikkinchi tenglamaga boʻlib

$$V_k = 3b \quad (5)$$

ni hosil qilamiz. **Demak, kritik hajm Van-der-Vaals tenglamasidagi  $b$  doimiylikning uchlanganligiga teng, bu doimiylik esa molekula oʻzining hajmining toʻrtlanganligiga teng. Shunday qilib, kritik hajmda molekulalar oʻz hajmidan 12 marta katta boʻlar ekan:**

$$V_k = 12 V_o \cdot N \quad (6)$$

Topilgan  $V_k = 3b$  qiymatni ikkinchi tenglamaga qoʻysak

$$P_k = \frac{a}{27 Kb} \quad (7)$$

boʻladi.

$V_k$  va  $P_k$  ning topilgan qiymatlarini birinchi tenglamaga qoʻysak,

$$T_k = \frac{8a}{27 R \cdot b} \quad (8)$$

boʻladi.

Kritik holatni tavsiflovchi hamma uch kritik parametr Van-der-Vaals tenglamasining oʻzgarmas funksiyasida va  $R$  gaz doimiysida keltirilgan.

Kritik holatlar toʻgʻrisidagi taʼlimot D.I.Mendeleyev tomonidan kiritilgan va rus olimlari Avenarius, Nadejdin, Semenchenkolar tomonidan tekshirilib, rivojlantirilgan.

### ***Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi***

Endi Van-der-Vaals tenglamasining umumlashgan bir holatiga toʻxtalamiz.

$$\frac{P}{P_k} = \Pi; \frac{V}{V_k} = \omega; \frac{T}{T_k} = \nu \quad (1)$$

bular keltirilgan bosim, hajm va harorat. Ularni Van-der-Vaals tenglamasiga qoʻyamiz:

$$\left( Pk \Pi + \frac{a}{V_k^2 \cdot \omega^2} \right) (V_k \cdot \omega - b) = R \cdot T_k \cdot \nu \quad (2)$$

a, b va R o`rniga qiymatlarini qo`yamiz :

$$b = \frac{V_k}{3}; \quad a = 3Pk \cdot V_k^2; \quad R = \frac{8}{3} \cdot \frac{P_k \cdot V_k}{T_k} \quad (3)$$

qisqartirishlardan so`ng quyidagini olamiz:

$$\left( \Pi + \frac{3}{2\omega} \right) \left( \omega - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \cdot \nu \quad (4)$$

**(4) tenglama keltirilgan Van-der-Vaals tenglamasi deb aytiladi.**

Unda berilgan moddani tavsiflovchi hech bir kattalik qolmagan. Bu yerda faqat keltirilgan hajm, bosim va harorat bor. Agar biz har xil modda olsak va ularning *keltirilgan hajm, bosim hamda harorati bir xil bo`lsa, u holda ular bir xil holatlarda bo`ladi.*

Van-der-Vaals tenglamasi fizikada, ayniqsa fizikaviy kimyoda bir qator masalalarni yechishda keng qo`llanilmoqda. Van-der-Vaals tenglamasining keltirilgan tenglamasidan mos holatlar uchun quyidagi qonun kelib chiqadi: ***Ikkita har xil jism mos holda bir xil bosim va haroratda bo`lsa, ular albatta, bir xil hajmga ega bo`ladi.***

Agar Van-der-Vaals tenglamasini kritik holat uchun yozsak va (3) munosabatni e`tiborga olsak, u holda quyidagini olamiz

$$\frac{R \cdot T_k}{P_k \cdot V_k} = \frac{8}{3} = 2,67 \quad (5)$$

***Ideal gaz uchun bu munosabat birga teng.*** Haqiqatan ham, (5) munosabat tajribada katta qiymatlar oladi. Ko`pchilik moddalar uchun 2,67 emas, balki 3,7. Ayrim moddalar uchun, masalan, uksus kislota uchun 6,8 gacha yetadi.

Van-der-Vaals tenglamasidan ko`ra, ***mos holatlar qonuni tajriba natijalariga ko`proq to`g`ri keladi.***

## **II-tur fazoviy o`tishlar**

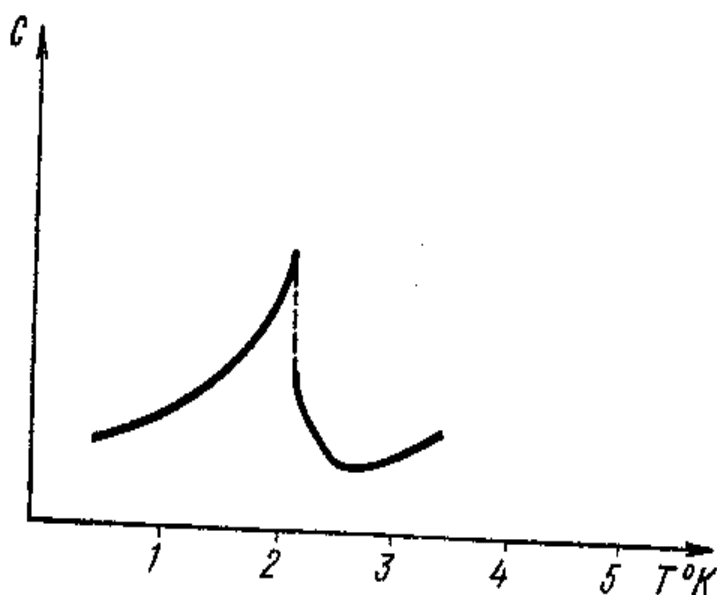
Biz hozirgacha I-tur fazoviy o`tishlarni ko`rib chiqdik. Bu fazoviy o`tish issiqlik miqdori ajralishi yoki yutilishi bilan birga boradi.

I-tur fazoviy o'tishning yaxshi tomoni – o'tish issiqligining mavjudligi.

**Boshqa fazoviy o'tish ham mavjud bo'lib, uni II-tur fazoviy o'tish deyiladi va uning I-tur fazoviy o'tishdan farqi shundaki, unda o'tish issiqligi mavjud emas.**

Temirning Kyuri nuqtasidan o'tishi II-tur fazoviy o'tishga misol bo'ladi, chunki bu nuqtada temir o'z xususiyatlarini yo'qotib, magnit xususiyatga ega bo'ladi.

$\alpha$  - temirdan  $\beta$  -temir holatga o'tishda harorat  $910^{\circ}\text{S}$  ga to'g'ri keladi va Kyuri nuqtasida kristall panjara strukturasi buziladi. Bu jarayon issiqlik sig'imi o'zgarishi bilan birga boradi.



21-rasm. Geliyning lyamda nuqtasi.

**II-tur fazoviy o'tishning eng qizig'i, suyuq geliyning past haroratlarida kuzatiladi.** Absolyut nol haroratga (2,19 K) yaqin nuqtada juda kichik qovushqoqlik gely II hosil bo'ladi. Bu holat shishalarni payvandlash paytida hosil bo'lib, qovushqoqlik gely II uchun boshqa gazlarga nisbatan bir necha martaga kichik bo'ladi. Gely I dan gely II ga fazoviy o'tishda issiqlik sig'imi grafi 21-rasmida berilgan.

Fazoviy o'tish nuqtasida barcha fazoviy o'tishlar uchun xos bo'lgan issiqlik sig'imining keskim oshishi kuzatiladi. Gely IIning asosiy fizik xossalardan biri, uning *ikki tovush tezligiga egaligi*, ikkinchisi, ayrim o'tkazgichlarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish holatlari. Absolyut shkaladan uncha yuqori bo'lmagan haroratlarda o'tkazgichlarning qarshiligi deyarli nolga teng. Bunday o'ta o'tkazgichlarga tokning mavjudligi elektr yurituvchi kuchi (E.Yu.K.)siz kuzatiladi (bir necha sutka davomida).

## Nernstning issiqlik qonuni

Nernstning issiqlik qonuni odatda *termodinamika III qonuni* deb ham yuritiladi. Buni termodinamikaning 3-qonuni deyish noto'g'ri, chunki uning ahamiyati 1- va 2-qonunlardan qolishmaydi. Nernstning issiqlik qonuni absolyut nolga jismning fizik xossalarini, ya'ni chegaraviy fizik xossalarini aniqlaydi. Absolyut nol – chegaraviy eng past harorat.

Faraz qilaylik, kristall absolyut nolga yaqin haroratda bo'lsin. Agar kristall press yordamida adiabatik siqilsa, u holda kristall harorati oshadi. Press uning sirtiga tik kelayotgan molekula bilan to'qnashib, unga impuls beradi, bu esa kristall haroratining oshishiga olib keladi.

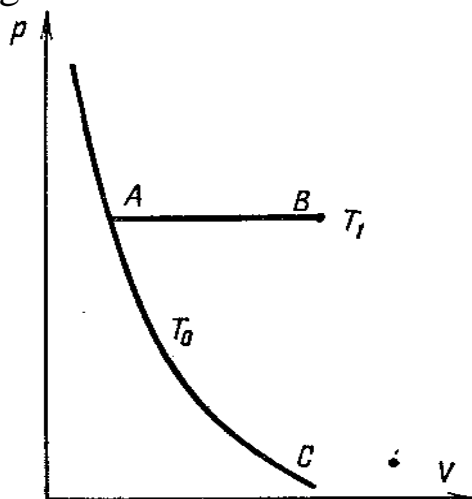
Absolyut nol haroratda bu jarayon qaralsa, haroratning oshishi kuzatilmaydi, chunki absolyut nolga kristall atomlari harakatlanmaydi. Atomlar kristall panjara tugunlarida bo'ladi va hech qanday tebranishlar hosil qilmaydi.

Kristallni siqa borsak, asta-sekin atomlar bir-biriga yaqinlasha boradi. Bunday atomlarning yaqinlashishida issiqlik haroratini tavsiflovchi hech qanday tebranishlar yuz bermaydi. Shunday qilib, kristallarning siqilishida harorat hech qanday oshmaydi.

Issiqlik sig'imi nazariyasini qaraganda *olmos va shunga o'xshash jismlarda absolyut noldan yuqori haroratlarda issiqlik sig'imi deyarli nolga teng*. Qaralgan jarayonda, absolyut nolga kristallni siqish izotermik bo'lsa-da, bu yerda bir vaqtning o'zida siqish adiabatik bo'ladi.

Demak, *absolyut nol haroratda izoterma va adiabatlar bir-biriga mos tushadi*. Izoterma va adiabatlar ustma-ust tushishi, *entropiyaning absolyut nol haroratda nolga tengligini ifodalaydi*.

Biz entropiyani kattaliklar farqi deb qaragan edik: ikki holat farqi uchun entropiyani hisoblagan edik.



22-rasm. Nernstning issiqlik qonunini tushuntirish uchun.

Endi Nernstning issiqlik qonunini bilgan holda entropiyaning boshlang'ich qiymatlarini olish mumkin. **Bu qiymat nolga teng.** Entropiyaning absolyut qiymatlarini hisoblashda nolinchi adiabat-izotermaning PV-diagrammasini yasaymiz. Jism adiabatining C nuqtani tavsiflovchi holatga keltiramiz va bu holatni o'zgartirib boramiz (22-rasm). Jismni adiabatik holatda A nuqtaga olib boramiz. Jism A holatdan izobarik jarayon bilan B nuqtaga o'tkazamiz.

Bu nuqta holatga mos keluvchi adiabat yoki izotermada yotishi mumkin. Bu xona haroratidagi izoterma ham bo'lishi mumkin. U holda entropiya

$$s = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad (1)$$

bo'ladi. Bu yerda  $C_p$ -T harorat funksiyasi.

Shunday qilib, entropiyani hisoblashda kattaliklarni farqi sifatida emas, balki absolyut deb ham olish mumkin. Shuni aytish kerakki,  $C_p$  doimiy emas: issiqlik sig'imi o'zgaradi va  $C_p$  harorat funksiyasidir. Bu funksiya qiymatlari past haroratlarda natija beradi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

Xonadagi havo harorati  $20^{\circ}\text{S}$ , havoning nisbiy namligi 60%. Qanday havo haroratida deraza ortida deraza shishalari namlana boshlaydi?

**Berilgan:**

$$t_1=20^{\circ}\text{S}$$

$$r=60\%$$

$$t_2=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Nisbiy namlik,

$$r = \frac{P}{P_t}$$

bu yerda  $P$  – havodagi suv bug'larining bosimi,  $P_t$  – berilgan haroratda to'yingan fazodagi suv bug'larining bosimi.

Jadvaldan  $20^{\circ}\text{S}$  da to'yingan bug'ning bosimi  $P_t=17,5 \text{ mm. sim. ust.}$  ga teng.

Bosim

$$P=P_t \cdot r$$

Hisoblaymiz:

$$P=P_t \cdot r=17,5 \cdot 0,6=10,5 \text{ mm. sim. ust.}$$

Jadvaldan  $P=10,5 \text{ mm. sim. ust.}$  ga –  $t_2=12^{\circ}\text{S}$ .

### 2-masala

Diametri 4 mm bo'lgan sovun pufakchasi ichidagi havo qanday bosim ostida turibdi va qo'shimcha bosim qanchaga teng? Atmosfera bosimi 752 mm. sim. ust. ga teng.

**Berilgan:**

$$d=4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_0=752 \text{ mm. sim. ust.}$$

$$\sigma=40 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$P=?$$

$$P_q=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Pufakcha ichidagi havo,

$$P=P_0+P_q$$

bosim ostida bo'ladi. bu yerda  $P_q$  – havoga pufakcha plyonkasi ikki sferik sirtidan ta'sir etuvchi bosim. Plyonkaning qalinligi juda kichik bo'lganligi uchun ikki sirtning diametrlari bir xil. Qo'shimcha bosim quyidagiga teng:

$$P_q = \frac{2 \cdot 2\sigma}{r}$$

bu yerda  $r$  – sirtning egrilik radiusi,  $r=d/2$ .

Shuning uchun, pufakcha ichidagi havo bosimi,

$$P = P_0 + \frac{2 \cdot 4\sigma}{d}$$

Hisoblaymiz:

$$P = 752 \cdot 133 + \frac{8 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} = (100016 + 80) Pa = 100096 Pa$$

Qo'shimcha bosim  $P_q=80Pa$ .

### 3-masala

Sovunli suv kapillyar naydan tomchilab chiqmoqda. Tomchining uzilish momentidagi diametri 1 mm. Tomchining massasi 0,0129 g, sovunli suvning sirt taranglik koeffitsiyentini toping.

**Berilgan:**

$$d=1 \cdot 10^{-3} m$$

$$m=1,29 \cdot 10^{-5} kg$$

$$\sigma=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Tomchi kapillyardan  $P>F$  shart bajarilganda uziladi, bu yerda  $P=mg$  og'irlik kuchi,  $F$  – sirt taranglik kuchi.

Muvozanat sharti:  $F=P$ ,  $\sigma l=mg$ , bu yerda  $l$  – tomchining perimetri, ya'ni  $l=\pi d$  ga teng. Bundan

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d}$$

Hisoblaymiz:

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d} = \frac{1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 9,8}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 4,05 \cdot 10^{-2} N / m$$

### 4-masala

Suyuqlikka tushirilgan ikkita kapillyar nay ichidagi suyuqliklarning sathlari farqini toping. Suyuqlik zichligi  $0,8 g/cm^3$ , kapillyarlarning ichki diametri 0,04 sm va 0,1 sm. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti  $22 \cdot 10^{-3} N/m$ .



**Berilgan:**

$$\rho = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$d_1 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_2 = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\Delta h = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

Kapillyarda suyuqlikning ko'tarilish balandligi quyidagi formuladan topiladi:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

bu yerda  $r$  – kapillyarning radiudi,  $r = d/2$ .

$$h = \frac{2 \cdot 2\sigma}{\rho g d}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

**Hisoblaymiz:**

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) = \frac{4 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^2 \cdot 9,8} \left( \frac{1}{0,4 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{10^{-3}} \right) \text{ m} = 16,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

**5-masala**

Havo harorati  $16^\circ\text{S}$  dan  $10^\circ\text{S}$  gacha pasaytirilganda,  $1 \text{ m}^3$  havodan  $1,5 \text{ g}$  suv ajralib chiqdi. Havoning  $16^\circ\text{S}$  dagi nisbiy namligini toping.

**Berilgan:**

$$t_1 = 16^\circ\text{S}$$

$$t_2 = 10^\circ\text{S}$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

$$m = 1,5 \text{ g} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\varphi = ?$$

**Masalaning yechilishi:**

1 m<sup>3</sup> havodagi ajralib chiqqan suv miqdori,

$$\frac{m}{V} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / \text{m}^3$$

Masala shartiga ko'ra, 283 K haroratda havo suv bug'lari bilan to'yingan. Jadvaldan  $\rho_1$  bug' zichligini 10°S dagi qiymatini topamiz. Havoning absolyut namligi,

$$P_A = \rho_1 + \frac{m}{V}$$

ekanligini topamiz va jadvaldan 16°S haroratda bug' zichligini topamiz. Havoning nisbiy namligi esa quyidagicha topiladi:

$$\varphi = \frac{9,4 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 \% = 80 \%$$

### 6-masala

Sovutkichning foydali ish koeffitsiyenti 80%, boshlang'ich harorati 289 K bo'lgan 150 g suvni muzga aylantirish uchun qancha muzlatuvchi agent (freon) bug'lanishi kerak? Muzning solishtirma erish issiqligi  $\lambda=3,32 \cdot 10^5$  J/kg, freonning solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_f=1,68 \cdot 10^6$  J/kg.

#### Berilgan:

$$\eta=0,8$$

$$m_s=0,15 \text{ kg}$$

$$T_1=289 \text{ K}$$

$$T_2=273 \text{ K (muzning erish harorati)}$$

$$\lambda=3,32 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$$

$$r_f=1,68 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$m_f=?$$

#### Masalaning yechilishi:

Masala issiqlik balansi tenglamasi yordamida yechiladi. Suv soviganda va muzlaganda bergan issiqlik miqdori,

$$Q_1 = c_s m_s (T_1 - T_2) + \lambda m_s$$

Freonning bug'lanishi uchun sarflangan issiqlik miqdori,

$$Q = r_f m_f$$

$Q_1$  va  $Q$  issiqlik miqdorlari o'zaro quyidagi formula bilan bog'langan:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q}$$

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, issiqlik balansi tenglamasini tuzamiz:

$$c_s m_s (T_1 - T_2) + \lambda m_s = r_f m_f \eta$$

Tenglamani  $m_f$  ga nisbatan yechsak,

$$m_f = \frac{c_s m_s (T_1 - T_2) + \lambda m_s}{r_f \eta}$$

Hisoblaymiz:

$$m_f = \frac{c_s m_s (T_1 - T_2) + \lambda m_s}{r_f \eta} = \frac{4187 \cdot 0,15 \cdot 16 + 3,32 \cdot 10^5}{1,7 \cdot 10^6 \cdot 0,8} \approx 0,044 \text{ kg}$$

## VIII. BO'LIM

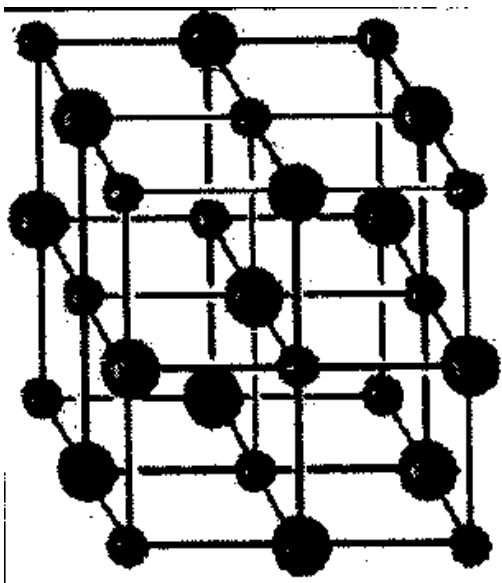
### QATTIQ JISMLAR

#### *Kristall va amorf jismlar*

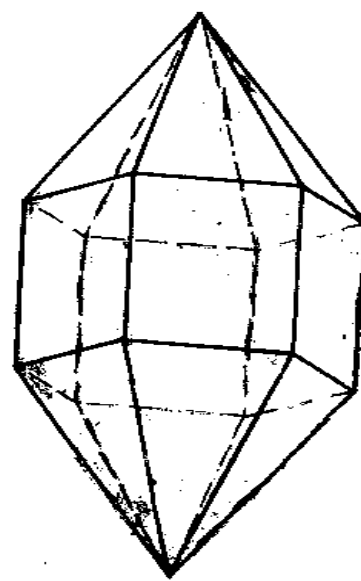
Yuqoridagi paragraflarda yoritilganidek, gazlar qanday idishga solinishdan qat'iy nazar idishning butun hajmi bo'yicha taqsimlanib idish hajmini butunlay egallar edi. Suyuqliklar esa gazlar kabi idishning hajmi bo'yicha taqsimlanmasdan solingan idishning shaklini egallab ma'lum hajmnigina egallaydi. Qattiq jismlar esa gaz va suyuqliklardan aniq geometrik shaklga ega bo'lishi bilan tamomila farq qiladi.

Qattiq jismlar fizik xossalariga qarab ikki turga: kristall va amorf jismlarga ajratiladi.

Kristall jismlarni eng xarakterli tomoni ularni tashkil etuvchi zarralar aniq geometrik shaklda joylashishidir. Masalan, osh tuzi NaCl kristallari kub shaklida (1-rasm), kvarts kristallari prizma ko'rinishiga (2-rasm) ega.



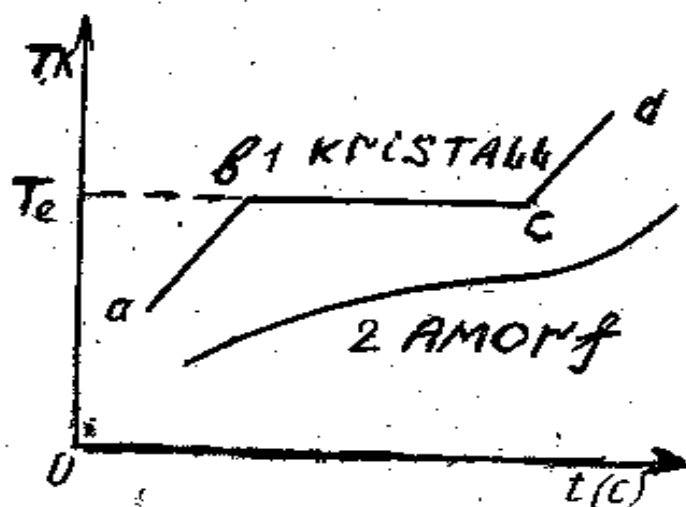
1-rasm.



2-rasm.

Kristall jismlarning asosiy xarakterli alomati unda ***anizotropiyaning*** mavjud bo'lishidir. ***Anizotropiya deb bir jinsli jismni fizik xossalari turli yo'nalishlarda har xil bo'lishiga aytiladi.*** Masalan, kristall jismlarda, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, yorug'likning tarqalish tezligi, elastiklik moduli, issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti va boshqa fizik xossalari turli yo'nalishlarda har xil bo'ladi. Kristall jismlarga bir tekisda issiqlik berilganda uning holatining o'zgarishini ifodalovchi parametrlarning bog'lanishi 3-rasmdagi diagrammada keltirilgan. Rasmda

kristall jismni tekis isitilishida erish diagrammasi keltirilgan. Bu rasmdagi *ab* chiziq, kristall jismni qattiq holatda haroratning ko'tarilishini aniq ifodalaydi. Jismning harorati aniq bir qiymatga yetganda (*b* nuqtadagi) u qattiq holatdan suyuq holatga o'ta boshlaydi va bu haroratga qattiq jismning *erish harorati* deyiladi. Jismning harorati erish haroratiga ( $T_e$ ) yetganda, uning qiymati ko'tarilmaydi, chunki berilayotgan issiqlik, jismning qattiq holatdan suyuq holatga o'tishiga sarf bo'ladi, ya'ni bu berilgan issiqlik energiyasi kristall panjarani buzish ishiga sarflanadi. Diagrammada *C* nuqta qattiq jism to'la-to'kis suyuq holatga o'tganligini ifodalaydi. Agar moddaga yana issiqlik berilsa, unda uning harorati ko'tariladi, bu diagramma *cd* chiziq bilan ko'rsatiladi.

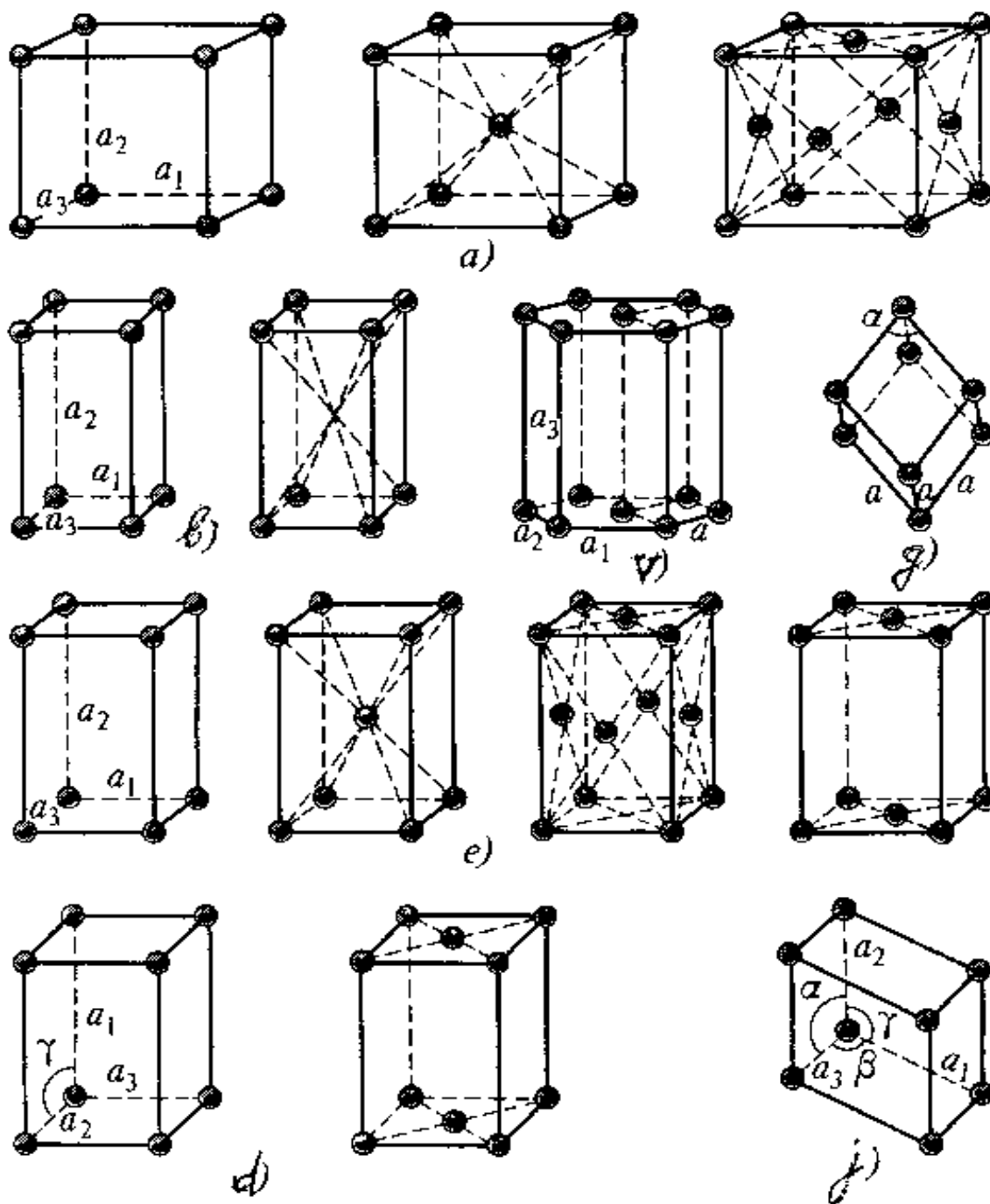


3-rasm.

**Kristall** jismlarning asosiy alomati, unda zarralarning (atom, molekula yoki ion), ma'lum bir tartubda joylashishidir. Kristallarning muvozanat holati uchun uch o'lchami bo'yicha zarralarning davriy takrorlanib joylashishiga **kristall panjara** deyiladi (4-rasmda ko'rsatilgan). Zarralar o'rtasidagi o'rtacha masofani o'lchashda va kristall jismlarni ma'lum panjara tuzilishiga ega ekanligini aniqlashda rentgenogrammalardan foydalaniladi. Kristall jismlarda zarralarning muayyan tartibli joylashishi jismning butun hajmiga tegishli bo'lib, buni **uzoq tartib** deb yuritiladi.

**Amorf** jismlarda zarralarning bunday tartibli joylashishi faqat qo'shni atomlarga xos bo'ladi, buni **yaqin tartib** deb yuritiladi. Amorf jismlar o'zining issiqlik xossalariga ko'ra kristall jismlardan keskin farq qiladi. Amorf jismlarga kristall qattiq jismlarga berilgani kabi issiqlik berilsa, u issiqlik ta'sir etgan qismi suyuq holatga aylanib, qolgan qismi qattiq holatda turaveradi. Uning harorati ikkala holatda tamomila farqli

bo'ladi. Demak, amorf jismlar kristall jismlar kabi aniq erish haroratiga ega emas (3-rasm). Amorf jismlarni qizdirganimizda, u yumshaydi va yuqori haroratlarda o'zini yopishqoqligi kichik bo'lgan suyuqliklarday tutadi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, amorf jismlar erishida absissa o'qiga parallel qismga ega emas, demak, qattiq amorf jismlarni, yopishqoqligi juda katta bo'lgan suyuqlik deb qarash mumkin. *Amorf* jismlar izotrop bo'ladi, ya'ni ular turli yo'nalishlarda bir xil xossaga ega. Amorf jismlarga smola, plastmassa, shisha, polimerlar va boshqa qattiq jismlar kiradi.



4-rasm. Kristall panjaralar.

a) kubik, b) tetragonal, v) geksagohal, g) romboedrik, d) rombik, e) monoklin, j) triklin.

Ba'zi moddalar (kvars, shakar, oltingugurt va h.k.) kristall hamda amorf shaklidagi mavjud bo'lishi mumkin.

Masalan, eritilgan oltingugurt ( $t_e=350^0S$ ) sovuq suvga birdan botirsak, bunda u tez sovitilishi natijasida krisyall jismga aylanmasdan, balki amorf plastik oltingugurtga aylanadi. Oltingugurt tez sovitilishi natijasida, uning atomlari aniq, to'g'ri kristall panjarani hosil qilishga ulgurmaydi.

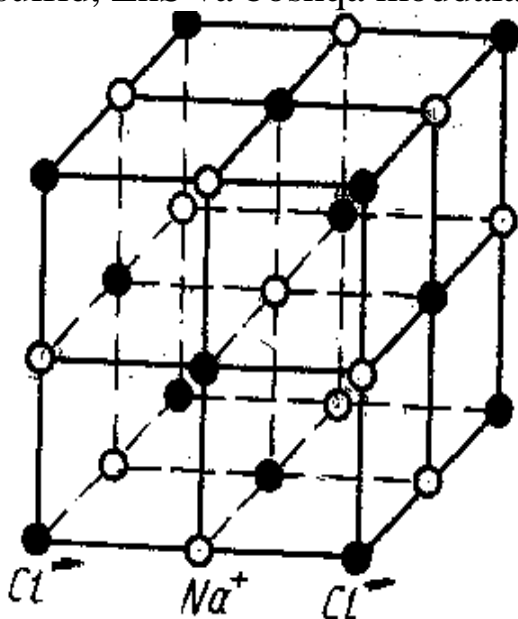
Qattiq jismlar, butun hajmi bo'yicha yagona kristall panjaraga ega bo'lsa, ular **monokristallar** deb yuritiladi. Bu kristallarni o'lchamlari katta bo'ladi (masalan, tog' xrustallari 0,5-1,5 metr).

Ko'pchilik qattiq jismlar mayda kristall tuzilishiga ega, ya'ni qattiq jism, xaotik joylashgan juda ko'p mayda kristallardan tashkil topgan. Bunday qattiq jismlarni **polikristallar** deb yuritiladi.

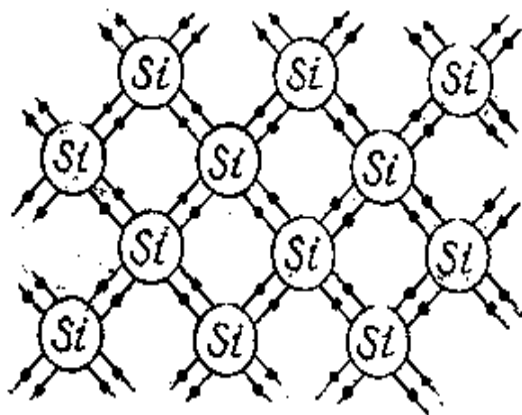
Kristallarni tashkil qilgan zarralarning tabiatiga va ular o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining xarakteriga qarab kristall tuzilishini to'rt turga ajratiladi, ya'ni ionli, atomli, metalli, va molekulyar kristallarga.

**1. Ionli kristallar.** Bunday kristallarni, kristalli panjara tugunlarida har xil ishorali ionlar joylashgan bo'ladi. Bu zarralar ortasidagi o'zaro ta'sir kuchlari elektr tabiatga ega. Ionli kristallarga osh tuzi kristalli misol bo'la oladi va uning kristall panjarasi 5-rasmda keltirilgan. Ionli kristallarga ko'pchilik organik birikmalar kiradi. Masalan, tuzlar.

**2. Atomli kristallar.** Atomli kristallarning, fazoviy panjarasining tugunlarida neytral atomlar joylashgan bo'ladi. Atomlarning o'zaro ta'sirida ionlar hosil bo'lmaydi. Bunday kristallarga olmos, uglerod, rux sulfid, ZnS va boshqa moddalar kiradi.



5-rasm.



6-rasm.

Atomli kristallar, atomlar o'rtasida kovalent bog'lanish tufayli hosil bo'ladi. har bir atomda bitta, ikkita, uchta yoki to'rtta juft elektronlarning kollektivlanishi natijasida kovalent bog'lanish hosil bo'ladi. Masalan, olmos, kremniy va germaniy atomlarining hamma to'rt valentli elektronlari kovalent bog'lanishni vujudga keltirishida ishtrok etadi. 6-rasmda kremniy kristallining kovalent bog'lanish sxemasi ko'rsatilgan. Kremniyning har bir atomining to'rtta valentli elektronlari yaqin joylashgan to'rtta atomning elektronlari bilan kollektivlashgan. Bunda atomning valanetli qobiqlari elektronlar bilan to'ldiriladi. Kovalent bog'lanish juda mustahkam bo'ladi, chunki bunday jismlar juda qattiq va yuqori erish haroratiga ega ekanligini isbotlaydi.

**3. Metallik kristallar.** Metallik kristallarning fazoviy panjarasi tugunlarida musbat ionlari joylashgan bo'lib, ular o'rtasidagi fazoda erkin elektronlar harakatlana oladi. Metallik kristallarda bog'lanishni butun sistemaga tegishli erkin elektronlar hosil qiladi. Erkin elektronlar metallning butun hajmi bo'yicha ko'chadi. Mana shuning uchun ham metallar juda yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka ega.

**4. Molekulyar kristallar.** Bunday kristallarga noorganik va ko'pchilik organik birikmalar kiradi. Ularda kristallanish jarayonida molekulalar o'zlarining individualligini saqlaydi. Molekulyar kristallarning fazoviy panjarasi tugunlarida molekulalar joylashgan bo'ladi. Masalan, brom, yod, naftalin va boshqa moddalar kristallari, molekulyar kristallarga misol bo'la oladi. Molekulyar kristallarda bog'lanish kuchlari, asosan molekulalar o'rtasida Van- der- Vaals kuchlari natijasida hosil bo'ladi. Bu bog'lanish kuchsiz bo'lganligi uchun molekulyar kristallar molekulalarni qattiq xaotik harakati natijasida oson buziladi, masalan past haroratlarda eriydi va bug'lanadi.

### ***Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi va issiqlik o'tkazuvchanligi***

Qattiq jismlarning harorati oshirilganda ularning kengayishini tajribalar tasdiqlaydi. Bu hodisani xarakterlash uchun chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi. Jismning  $0^{\circ}\text{S}$  haroratdagi uzunligini  $l_0$  deb belgilasak, uni  $t^{\circ}\text{S}$  gacha qizdirganimizda uzunligining ortishi  $\Delta l$  jismning boshlang'ich uzunligiga ( $l_0$ ) hamda haroratga to'g'ri mutanosib bo'ladi, ya'ni

$$\Delta l = \alpha l_0 t \quad (1)$$

bunda  $\alpha$ -chiziqli kengayish koeffitsiyenti, jismning haroratini bir gradusga orttirganimizda, uzunligining nisbiy uzayishini xarakterlaydi.



Jismning  $t$  haroratdagi uzunligi:

$$l_t = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha t) \quad (2)$$

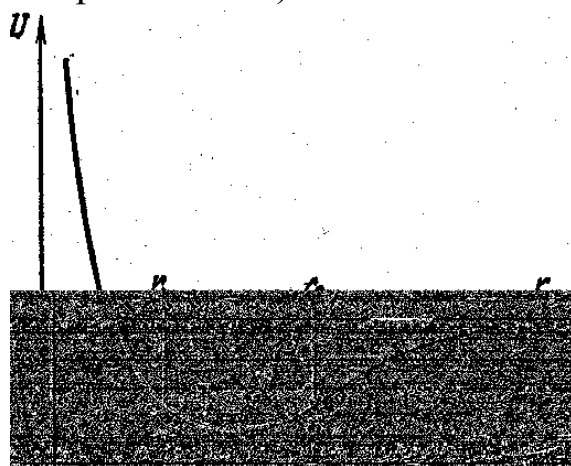
Jismning chiziqli o'lchamlari o'zgarishi natijasida uning hajmi ham o'zgaradi. Agar jismning  $0^\circ\text{S}$  haroratdagi hajmini  $V_0$  deb belgilasak,  $t^\circ\text{S}$  haroratdagi hajmini  $V_t$  desak, u vaqtda yuqoridagi mulohazalarga asosan

$$V_t = V_0(1 + \beta t) \quad (3)$$

bo'ladi. Bu yerda  **$\beta$ -hajmiy kengayish koeffitsiyenti, jismning haroratini bir gradusga orttirganimizda jism hajmining nisbiy o'zgarishini xarakterlaydi.** Izotrop jismlar uchun, (2) va (3) formulalardan  $\beta \approx 3\alpha$  ekanligini oson keltirib chiqarish mumkin.

Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi jismlarni tashkil qilgan zarralarning o'zaro ta'sir kuchlarining xarakteriga bog'liqdir.

Bizga ma'lumki, kristallarda atomlar muvozanat holatlari atrofida tebranadi. Agar jismning harorati ko'tarilsa, atomlarning tebranish amplitudasi ortadi, lekin bu fakt, jismlarni issiqlikdan kengayishini tasdiqlamaydi. Jismlarning kengayishi, jismni tashkil qilgan zarralarning energiyasi ortishi bilan sodir bo'ladi. Buni tushuntirish uchun o'zaro ta'sir energiyasi, ular orasidagi masofa bog'liqlik grafigidan foydalanamiz (7-rasm). Kristall panjaradagi atomning energetik sathini ma'lum bir haroratda  $a$  gorizontaal to'g'ri chiziq bilan tasvirlaylik va uning energiyasini  $U_1$  deb belgilaylik. Atom mana shu  $a$  gorizontaal to'g'ri chiziq bo'yicha tebranadi, eng chetki holatlari  $r_1$  va  $r_2$  bo'lib atomning muvozanat holati bu to'g'ri chiziqning o'rtasida bo'ladi. Agar jismning harorati ko'tarilsa, uning energiyasi ortib ( $U_2$ ) atom yuqori energetik sathga o'tadi (7-rasmda  $b$  to'g'ri chiziq bilan ko'rsatilgan).  $b$  to'g'ri chiziq,  $a$  to'g'ri chiziqqa nisbatan katta, bu esa atomning tebranish amplitudasi ortganligini ko'rsatadi. Bu  $b$  to'g'ri chiziqda atomning muvozanat nuqtasi ham ko'chganligi rasmdan ko'rinib turibdi (potensial egrilikni asimmetriyasi natijasida muvozanat nuqta ko'chadi).



7-rasm.

Mana shu fakt atomlar orasidagi masofa ortganligini tasdiqlaydi, bu esa qattiq jismlarni issiqlikdan kengayishiga olib keladi.

***Shunday qilib, qattiq jismlarni issiqlikdan kengayishiga uni tashkil qilgan zarralar (atomlar) orasidagi masofaning ortishi sabab bo'lar ekan.***

Qattiq jismlarni, suyuqlik va gazlardan farqi unda *konveksiya* hodisasi sodir bo'lmaydi. Shuning uchun qattiq jismlarda issiqlikning ko'chishi faqat issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan amalga oshiriladi.

Erkin elektronlari bo'lmagan qattiq jismlarda issiqlikni ko'chish mexanizmi kristall panjarani tashkil qilgan zarralarning issiqlik harakati xarakteriga bog'liq. Masalan, ma'lum haroratda kristall panjarani bir tugunida zarra A amplituda bilan tebranayotgan bo'lsa, bu zarra qo'shni tugun zarralari bilan bog'liq bo'lagani uchun, ularning ham tebranish amplitudasi orttiradi. Demak, ma'lim zarraning issiqlik tebranishi qo'shni tugundagi zarralarga uzatiladi. Shunday qilib, kristall jismlarda panjaraning bir tugunidan qo'shni tugunlariga issiqlik tebgariish energiyasini uzatuvchi elastik to'lqin tarqaladi.

Agar qattiq jismning chetlarini har xil haroratda saqlab tursak, bu jism namunasida uzluksiz issilik oqimi o'tadi.

***Metall bo'lmagan kristallarda issiqlikni uzatilishi va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti xuddi ideal gazlardagi kabi bo'ladi.***

Metall bo'lganda esa issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bir yoki ikki tartibga yuqori bo'ladi. Metallardagi elektr o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bilan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini taqqoslash shuni ko'rsatadiki, har ikkala xususiyat ham elektronlarni metallardagi konsentratsiyasiga, erkin yugurish yo'liga bog'liq ekan.  $n \cdot \lambda$  ko'paytma qancha katta bo'lsa, elektr o'tkazuvchanlik ham, issiqlik o'tkazuvchanlik ham shuncha ko'p bo'ladi. Quyidagi nisbat hamma metallar uchun bir xil bo'lib, faqat absolyut haroratga bog'liq bo'ladi.

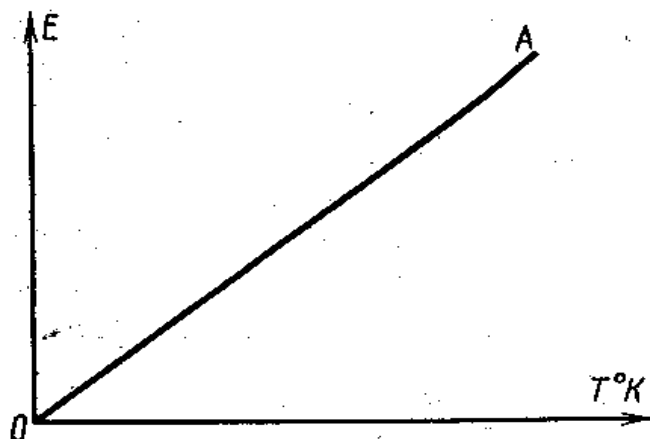
$$\frac{\chi}{\sigma} = 3 \left( \frac{k}{e} \right)^2 T \quad (4)$$

Bu munosabat XIX asrda Videman va Frans tomonidan tajribada aniqlangan bo'lib, uning son qiymati (4) formula yordamida hisoblangan natijaga ancha aniqdir.

### ***Bir atomli qattiq jismlar issiqlik sig'imining klassik nazariyasi***

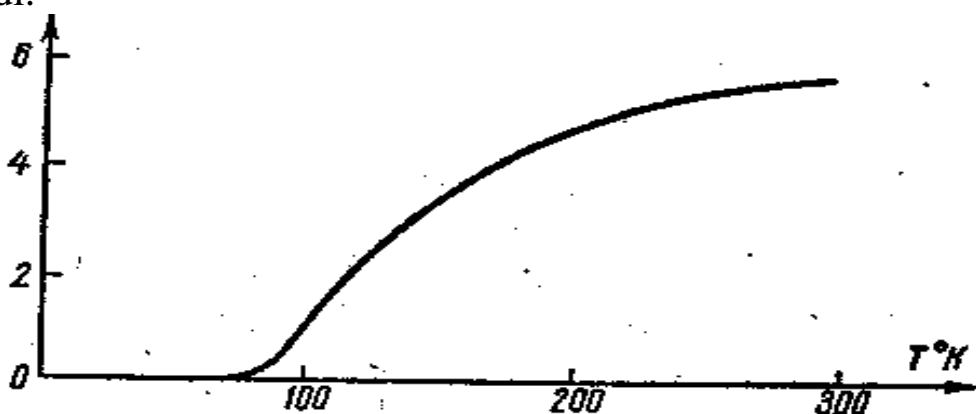
Klassik nazariyaga ko'ra gaz molekulalarining har bir erkinlik darjasiga to'g'ri kelgan energiya o'zaro teng degan Bolsman teoremasini

bir atomli kristall qattiq jismlarga ham tatbiq etish mumkin bo'lib, atomlarning o'zaro ta'sir kuchi erkinlik darajasiga ta'sir etmaydi, undagi atomlar asosan tebranma harakat qiladi deb, hisoblanadi.



8-rasm. Klassik nazariya bo'yicha molekula energiyasining haroratga bog'liqligi.

Tebranma harakatning har bir erkinlik darajasiga mos bo'lgan o'rtacha energiya, ilgari harakatdagi singari  $\frac{1}{2}kT$  emas, balki  $2 \cdot \frac{1}{2}kT$  ga teng. Chunki kristalldagi atom turg'un muvozanat vaziyati atrofida garmonik tebranma harakat qilsa, uning to'liq tebranma harakatdagi energiyasi, kinetik va potensial energiyalarning yig'indisidan iboratdir. Potensial va kinetik energiyaning o'rtacha qiymatlari o'zaro teng bo'lib, to'liq energiya esa  $kT$  ga teng bo'ladi. U holda bir mol kristall qattiq jism energiyasi undagi molekular soni ( $N_A$ )ni va bitta kristall atomining erkinlik darajasini uchga tengligini nazarda tutsak,  $3N_AkT$  munosabat bilan ifodalaniladi.



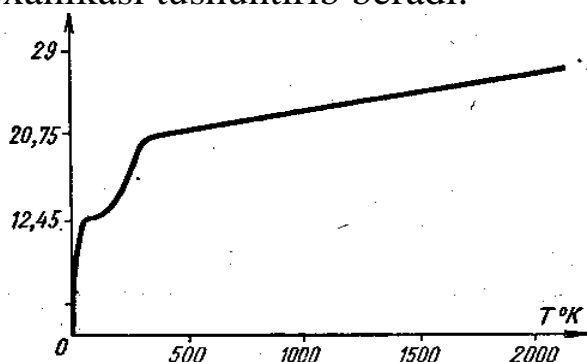
9-rasm. Olmos issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligi.

***Bir mol kristallning harorati o'zgarmas hajmda bir gradusga ko'tarilsa, energiyasi 3R ga ortadi. Bu kattalik o'zgarmas hajmdagi kristall qattiq jism molyar issiqlik sig'imidir:***

$$C_{\mu V} = \left( \frac{dU}{dT} \right)_V = 3R \cong 25 \frac{J}{mol \cdot K}$$

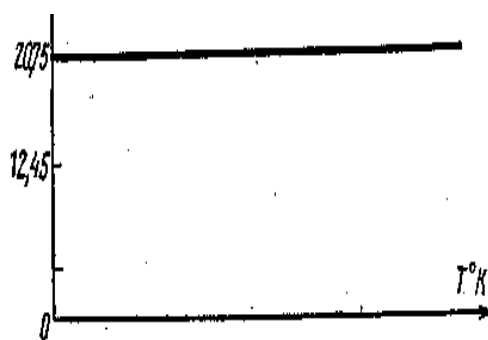
Shunday qilib, klassik nazariya tushunchalari asosida topilgan bu son *Dyulong va Ptining* tajribadan olgan natijalariga mos keladi. Biroq *Dyulong va Pti* qonuni yuqori haroratdagina to'g'ri bo'ladi. Bu hol bir atomli kristall qattiq jismlar issiqlik sig'imini haroratga bog'lanishini tasvirlovchi grafikda yaqqol ko'rinib turibdi (9-rasm).

Olmos, kremniy, alyuminiy va qo'rg'oshinlarda harorat ( $T \rightarrow 0$ ) absolyut nolga intilishi bilan hajm doimiy bo'lgandagi issiqlik sig'imi ham nolga intiladi, yuqori haroratlarda esa ( $T > 1000 K$ ) hamma jismlar uchun  $C_{\mu V}$  ga yaqin bo'lib, haroratga bog'liq bo'lmaydi. Lekin ba'zi bir jismlar, masalan, kremniy va qo'rg'oshin bundan mustasnodir. Bu elementlarning o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'implari odatdagi haroratda  $3R$  dan kichik, absolyut nolga yaqin haroratlarda esa nolga intilib, haroratning ana shunday ***juda past va yuqori chegaralarida  $C_{\mu V}$  ning haroratga bog'lanishi ro'y beradi***, issiqlik sig'iminining klassik nazariya tushunchalari eksperiment natijasiga mos kelmaydi. Ko'p atomli gaz molekulalarining issiqlik sig'imi, harorat past bo'lishi bilan bir atomli qattiq jismlarning issiqlik sig'imiga yaqinlashadi, harorat absolyut nolga intilishi bilan nolga intiladi. Shunday qilib, tajriba natijalari bilan nazariya o'rtasidagi bu tafovutni klassik nazariya tushunchalariga asoslanib, bartaraf qilish mumkin emas. Haqiqatda esa qattiq jismlarda atomning, gazlarda ikki atomli va ko'p atomli molekulalarining harakati juda yuqori va past haroratlarda ham klassik mexanika qonunlariga boy'sunadi, har bir erkinlik darajasiga tog'ri kelgan energiya o'zaro teng bo'ladi deyish to'g'ri bo'lavermaydi. Chegaraviy haroratlarda, molekula va atomlarning harakati kvant mexanika qonunlariga bo'ysunadi, issiqlik sig'imini aniqlashdagi eksperiment natijalari bilan klassik tushuncha o'rtasidagi ziddiyatni kvant mexanikasi tushuntirib beradi.



10-rasm.

10-rasm. *Vodorod* issiqlik sig'iminining haroratga bog'liqligi.



11-rasm.

11-rasm. *Ikki atomli gaz* issiqlik sig'iminining haroratga bog'liqligi.

## Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi

Klassik nazariyaga ko'ra jismlarning issiqlik sig'imini hisoblashdagi qiyinchiliklar-sig'imning keng harorat intervallarida tajriba natijalari bilan nazariya natijalarining mos kelmasligi, harorat bog'lanishini to'g'ri aks ettirib bera olmasligi juda ko'p omillarga bog'liq bo'lib (tebranishdagi angarmonik effektlar, molekular energiyasining erkinlik darajasiga ko'ra taqsimlanishidagi ayrim erkinlik darajasini, molekular strukturasi bog'lanishlarni hisobga olmaslik, atom va molekular modeli bilan bog'liq bo'lgan va h.k.), bu nazariya duch kelgan qiyinchiliklar asosan kvant mexanikasi yordamida bartaraf qilinadi: jism N ta o'zaro kuchsiz tas'irida bo'lgan molekular sistemasidan iborat bo'lsin. Bu sistemaga molekularning energetik sathlari diskret qiymatlari qabul qilsin deb, unga Bolsman taqsimotini tatbiq etaylik. Termodinamik muvozanatda bitta molekulaga to'g'ri kelgan o'rtacha energiya quyidagicha ifodalaniladi:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum N_n \varepsilon_n \quad (1)$$

Agar molekulaning kvant sathi aynigan bo'lsa, molekular turli sathlarga ko'ra o'zaro qayta taqsimlangan bo'lsa, u holda ularning to'lgan sathlaridagi o'rtacha molekularni soni

$$N_n = N_0 g_n e^{-\frac{\varepsilon_n}{kT}} \quad (2)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $N_0 = e^{-\beta}$  ga teng bo'lgan o'zgarmasdir,  $g_n$  – esa  $n$  – sathning karralanishidir.

Normallashtirish sharti  $N = \sum \bar{N}_n = N_0 \sum g_n e^{-\varepsilon_n \beta}$  dan foydalanib, (1) ni quyidagicha yoza olamiz:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_n g_n e^{-\varepsilon_n \beta}}{\sum g_n e^{-\varepsilon_n \beta}} \quad (3)$$

yoki

$$\bar{\varepsilon} = - \frac{1}{z} \frac{dz}{d\beta} = - \frac{d}{d\beta} \ln z \quad (4)$$

Bu yerda  $N = \sum \bar{N}_n = N_0 \sum g_n e^{-\varepsilon_n \beta}$  (4a) ga teng bo'lib, *statistik yoki holatlar yig'indisi deb ataladi*. Haqiqatdan,  $z$  dan  $\beta$  ga nisbatan olingan xususiy hosilaning teskari ishorasi bilan olingan qiymati (3) ifodaning suratini hosil qilishligini ko'rish qiyin emas. Bu natijani  $z$  ga nisbatan  $\varepsilon$  ifodani hosil qiladi. O'rtacha  $\varepsilon$  ni  $\eta \chi$  – kuch ta'sirida  $v = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\eta}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$  chastota bilan turg'un muvozanat vaziyati atrofida tebranayotgan chiziqli garmonik ossillyator uchun hisoblaylik. Kvant mexanikasiga ko'ra kichik

tebranishlar qilayotgan ikki atomli molekulani atomlari og'irlik markaziga nisbatan tebranayotgan garmonik ossillyator deb qarash mumkin. Bunday sitemaning energiyasi

$$\varepsilon_n = \left( n + \frac{1}{2} \right) h \nu \quad (5)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $\nu$ -ossillyatorning chiziqli chastotasi bo'lib,  $n$  esa 1, 2, 3... butun sonlar qabul qiladigan kvant soni,  $h$  – Plank doimiysidir.

(5) ni (4a) ga qo'yib, statistik yig'indi uchun quyidagini hosil qilamiz:

(6) ning natural logarifmi  $\ln z = -\beta \frac{h \nu}{2} - \ln (1 - e^{-h \nu \beta})$  dan  $\beta$  ga nisbatan olingan xususiy hosilani (4) ga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h \nu}{2} + \frac{h \nu}{e^{\frac{h \nu}{kT}} - 1} \quad (7)$$

(7) da  $\frac{h \nu}{2}$  garmonik ossillyatorning nolinci energiyasini ifodalab, molekulalar (atomlar) issiqlik harakatiga dahli yo'q, binobarin, haroratga ham bog'liq emas. Shu sababli natijaviy issiqlik sig'imga hech qanday hissa qo'shmaganligi sababli u hadni tushurib qoldiriush mumkin:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h \nu}{e^{\frac{h \nu}{kT}} - 1} \quad (7a)$$

Bu formula birinchi marotaba absolyut qora jismlarning nurlanishini tekshirishda Plank tomonidan kiritilgan.  $\exp\left(\frac{h \nu}{kT}\right)$  ni,  $kT \gg h\nu$  bo'lgan chegaraviy hol uchun  $\frac{h \nu}{kT}$  ning darajasiga ko'ra Teylor qatoriga yoyib, qatorning faqat ikkita hadi bilan chegaralansak,

$$\exp\left(\frac{h \nu}{kT}\right) \approx 1 + \frac{h \nu}{kT} \quad (8)$$

Bu natijani (7a) ga qo'ysak klassik mexanikadagi singari  $\varepsilon=kT$  ga teng bo'lgan ifodani hosil qilamiz.

Shuni qayd qilish kerakki,  $h\nu \ll kT$  da atomning (molekulaning-ossillyatorning) juda ko'p energetik sathlari uyg'ongan bo'lib, energetik sathning diskretligi kvantlanishi ahamiyataga ega bo'lmay qoladi. Energetik sathlari bir- biriga nisbatn juda ham yaqin joylashgan bo'lib, energiyaning erkinlik darajasiga nisbatan taqsimlanishi klassik mexanikadagi uzluksiz energiya taqsimotiga yaqin bo'ladi.

Aksincha,  $kT \ll hv$  bo'lgan holda tebranma harakat energiyasi amalda  $\frac{hv}{2}$  ga teng bo'lib, qolgan energetik sathlar uyg'onmagan bo'ladi.

Ossilyatorning tartibsiz issiqlik harakatiga mos bo'lgan o'rtacha energiya  $\varepsilon = kT$  ossilyatorni  $n=0$  holatdan  $n=1$  holatga uyg'otishga yetarli emas. Ossilyator faqat o'rtacha energiyasi  $kT$  nisbatan katta bo'lgan molekular bilan to'qnashgandagina uyg'onishi mumkin. Lekin bunday  $\varepsilon > kT$  bo'lgan molekularning nisbiy soni juda kam, natijada deyarli hamma ossilyatorlar  $n=0$  holatda bo'ladi. Bu holatda  $kT \ll hv$  shart bajarilar ekan. Haroratning keyingi o'sishida ham saqlanadi. Shunday qilib,  $kT \ll hv$  shart bajarilganda ossilyatorlar tebranishlarining energiyasi haroratga deyarli bog'liq bo'lmay, molekularning issiqlik sig'imiga ham ta'sir qilmaydi. Eynshteyn qattiq jismlar issiqlik sig'imining Kvant nazariyasini yaratishda

Plankning  $h\nu \left[ \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]^{-1}$  ifodasini asos qilib oladi. Kristall panjara atomlarining muvozanat vaziyati atrofida birday  $\nu$  chastota bilan garmonik tebranma harakat qilayotgan ossilyatorlardan iborat deb qaraydi. ***Qattiq jism atomlarining  $x, y, z$  yo'nalishlarga nisbatan ham tebranishini e'tiborga olinsa, har bir atomning erkinlik darajasi uchga teng, u holda qattiq jism bir molining ichki energiyasi o'zaro bog'liq bo'lmagan  $3N$  ta chizikli ossilyator tebranishlarining energiyasidan iborat bo'ladi:***

$$\bar{U} = 3\varepsilon N = \frac{3Nh\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (9)$$

Bir mol kristall panjara qattiq jism atomlarining issiqlik sig'imini ifodalaydigan ushbu

$$C_V = \left( \frac{dU}{dT} \right)_V = \frac{3R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \exp \frac{h\nu}{kT}}{\left[ \exp \frac{h\nu}{kT} - 1 \right]^2} \quad (10)$$

munosabatni ***Eynshteyn formulasi*** deyiladi. Juda yuqori haroratlarda, ya'ni  $kT \gg hv$  bo'lgan hollarda  $C_V$  klassik mexanikadagi olingan natijalar bilan bir xil bo'lgan  $C_V = 3R$  munosabatga (Dyulong- Pti qonuni) teng bo'ladi. Bu munosabat o'zgarmas bo'lib, haroratga bog'liq emas. Lekin tajribalar  $C_V$  ning haroratlarga bog'lanishini ko'rsatadi. Ikkinchi chegaraviy  $\frac{h\nu}{kT} \gg 1$  bo'lgan holni ko'raylik. Bu holda (10) ning maxrajidagi

birni  $\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)$  ga nisbatan e'tiborga olmasak, issiqlik sig'imi

$$C_v = 3R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \exp - \frac{h\nu}{kT} \quad (11)$$

ifodaga teng bo'ladi.

Bu yerda  $T \rightarrow 0$  da  $C_v \rightarrow 0$ , chunki  $\left( \frac{h\nu}{kT} \right)$  hadning ortishiga qaraganda eksponensial had  $\exp \left( - \frac{h\nu}{kT} \right)$  tezroq kamayadi. Shunday qilib, (3) ning  $T \rightarrow 0$  intilgandagi limiti tubandagicha bo'ladi:

$$\lim C_v = 3R \lim \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \lim \left| \exp \left( - \frac{h\nu}{kT} \right) \right| = 0$$

**Harorat absolyut nol haroratga yaqin bo'lgan sohada issiqlik sig'im juda kam bo'lib, haroratning ortishi bilan dastlab  $C_v$  absolyut haroratning uchinchi darajasiga mutanosib holda o'sadi, so'ngra esa haroratning bundan keyingi ortishi bilan  $C_v$  ning o'sishi susayadi,** yuqori haroratlarda Dyulong-Ptining  $\left( c_v = 25 \frac{j}{mol \cdot grad} \right)$  empiriik natijasidan birmuncha katta bo'ladi.

Juda yuqori haroratlarda  $C_v$  ning tajriba natijalaridan bir oz chetlanishni Born katta energiyali angarmonik effektlarning paydo bo'lishi bilan izohlaydi.

(11) ifodadan  $T \rightarrow 0$  da  $C_v$  ning juda tez, ya'ni eksperimental qonuniga ko'ra kamayishini ko'rish qiyin emas. Lekin tajriba haqiqatda  $C_v$  ning  $T \rightarrow 0$  intilgandagi kamayishi taxminan darajali qonun bo'yicha bo'lishligini ko'rsatadi. Boshqa haroratlarda yham Eynshteynning tenglamasi haroratga bog'liqligi sifat tomonidan tajribaga mos kelib, miqdor tomondan tajriba natijalaridan farq qiladi. Tajriba va nazariya natijalarining mos kelmasligiga sabab hamma garmonik ossillyatorlarning bir xil chastota bilan tebranishi va ular o'zaro bog'lamaydi degan soddalashtirilgan tasavvurlardir. Haqiqatda esa kristall panjara tugunlaridagi atomlar bir-birlari bilan bog'langan o'zaro ta'sirlashadigan, turli xil chastota bilan tebranayotgan garmonik ossillyatorlar sistemasidan iboratdir. Bunday sistemaning kichik tebranishi turli xil chastota bilan tebranayotgan juda ko'p garmonik ossillyator tebranishining superpozitsiyasidan iborat bo'ladi. Bu tebranishlarning (chastotalarning) soni juda ko'p, qariyb sistemaning erkinlik darajalar soniga teng. **Sistema chastotalarining to'plami spektr deyiladi.** Debay tomonidan aytilgan bu fikr Eynshteynning g'oyasiga asoslangan bo'lib, bir atomli qattiq jismlar issiqlik sig'imining past haroratlarda haroratga bog'liqlik nazariyasini yaratishda va rivojlantirishda muhim rol o'ynaydi.



Qattiq jism atomlarini har xil chastota bilan muvozanat vaziyati atrofida kichik tebranishlar qilib turuvchi tutash uzluksiz muhit deb qarash mumkin. Bu atomlarning har biri 3 ta erkinlik darajasiga ega bo'lgan xususiy tabranish qilib, unda eng kichik va eng katta chastotalar uchraydi. Kichik tebranishlarga kristall atomining elastik tebranishlari, tovush tebranishlariga mos keladi.

Qattiq jism atomlarining tebranishi faqat kollektiv ravishda yuz beradi. Ularning hammasi o'zaro bir-birlari bilan elastik kuchlari yordamida bog'langan bo'lib, bitta atomning tebranishi qolgan atomlarning tebranishiga sababchi bo'ladi. Bu tebranish kristallda elastik to'liqlarning hosil bo'lishi va tarqalishiga olib keladi. Kristallning o'lchami chekli bo'lganligi sababli bir xil amplitudali qarama-qarshi to'liqlarning interferensiyalanishi (qo'shilishi) tufayli kristallda turg'un to'liqlar vujudga keladi. Nisbatan kichik chastotali atomlarning tebranishiga to'liq uzunligi kristall o'lchamidan anchagina katta bo'lgan to'liqlar mos keladi, bunday to'liqlar mexanik deformatsiya tufayli ham yuz beradi. Shunday ekan, bu mulohazalar kristall qattiq jismni turg'un to'liqlar bilan to'ldirilgan tutash muhitdan iborat deb qarash mumkin bo'lgan tushunchaga olib keladi. Har qanday zarralar (atomlar) to'liq xususiyatga ega degan tasavvurdan foydalansak, u holda kristalldagi atomlarning elastik tebranishlari kvantlangan va ularning energiyasi  $h\nu$  ga teng bo'lgan tovush kvantlaridan, ya'ni fononlardan iboratdir degan tushunchani kiritish mumkin. Fonon energiyasi tovush to'liqlariga mutanosib bo'lganligi sababli uning tezligi tovush to'liqining impulsi orqali aniqlaniladi. Qattiq jism atomlarining tebranish soni juda ko'p. Atomlarning soni kristall jismlarda  $1 \text{ m}^3$  da  $10^{26}$  ta bo'lishiga qaramay, lekin cheklidir. Shu sababli Debay qattiq jism atomlarining tebranish spektri qandaydir  $\nu_{max}$  chastota bilan chegaralangan degan fikrni aytadai. Debay nazariyasiga ko'ra issiqlik sig'im biror  $\Theta$  haroratdan boshlab (bu harorat Debayning xarakteristik harorati deyiladi) harorat pasayishi bilan sig'im juda tez kamayadi. Bu harorat atom issiqlik harakatining energiyasi, ossillyatorning maksimum energiyasiga teng bo'lgandagi harorat bo'lib,  $k_{\Theta} = h\nu_{max}$  munosabatdan aniqlaniladi.

Jism harorati  $T$ , Debay haroratidan birmuncha kichik  $T \ll \Theta$  bo'lgan hollarda qattiq jismlarning issiqlik sig'imi absolyut haroratning kubiga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$C_V = \alpha T^3$$

bu yerda

$$\alpha \frac{12}{5} \pi^4 R_{\Theta}^{-3}$$

$T \gg \Theta$  hollarda esa  $C_V = 3R$  ga teng. ***Debaying xarakteristik harorati yuqori va past haroratlarning chegarasi ham hisoblanadi.***

Ba'zi bir qattiq jismlarning issiqlik sig'imi (olmos, bor va h.k.) hatto xona haroratida ham Dyulong-Pti qonuniga bo'ysunmaydi. Bu jismlarning xarakteristik harorati shu qadar yuqoriki, xona harorati unga nisbatan juda past hisoblanadi. Masalan, kumush uchun  $\Theta = 210^\circ\text{S}$ , alyuminiy uchun  $\Theta = 400^\circ\text{S}$ , qo'rg'oshin va olmos uchun mos ravishda  $\Theta = 90^\circ\text{S}$ ,  $\Theta = 2000^\circ\text{S}$ . Bunday jismlar uchun  $C_V$  ning haroratga bog'lanishi Debay qonuni ( $\alpha T^3$ ) ga bo'ysunadi.

Sig'imni o'lchash va uning haroratga bog'lanishini aniqlash qattiq jismlarning strukturasi o'rganishda juda katta rol o'ynaydi.

## MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

### 1-masala

Diametri 0,8 mm va uzunligi 3 m bo'lgan sim vertikal osilgan. Unga 5 kg massa osilganda, simning uzunligi 0,6 mm ga uzaydi. Kuchlanish, nisbiy uzayish va elastiklik moduli topilsin.

#### Berilgan:

$$d=0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$m=5 \text{ kg}$$

$$l=3 \text{ m}$$

$$\Delta l=0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma=?$$

$$\frac{\Delta l}{l}=?$$

$$K=?$$

#### Masalaning yechilishi:

Kuchlanish

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

Elastiklik kuchi og'irlik kuchiga modul jihatidan teng,  $F=mg$ ; simning kesimi yuzasi

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Demak,

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4mg}{\pi d^2}$$

Hisoblaymiz:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4mg}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 9,8}{3,14 \cdot (0,8 \cdot 10^{-3})^2} \text{ N / m}^2 = 32 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2$$

Nisbiy uzayish,

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{3} = 2 \cdot 10^{-4}$$

Guk qonunidan elastiklik moduli,

$$k = \frac{l}{\Delta l} \sigma = \frac{3 \cdot 32 \cdot 10^6}{0,6 \cdot 10^{-3}} \text{ N / m}^2 = 16 \cdot 10^{10} \text{ N / m}^2$$

### 2-masala

Mis sharni 0°S dan boshlab isitilganda uning hajmi 10 sm<sup>3</sup> ga oshdi. Isitish uchun sarflangan issiqlik miqdorini toping.

**Berilgan:**

$$t_1=0^\circ\text{S}$$

$$\Delta V=10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$c=3,8 \cdot 10^2 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\alpha=1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\rho_0=8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$Q=?$$

**Masalaning yechilishi:**

Issiqlik miqdori,

$$Q = mc (t_2 - t_1)$$

bu yerda  $t_2$  – isitilgan sharning harorati.Hajmiy kengayish  $V=V_0(1+\beta(t_2-t_1))$ , bu yerda  $\beta$  – hajmiy kengayish koeffitsiyenti,  $V_0$  –  $0^\circ\text{S}$  da sharning hajmi, bundan

$$t_2 = \frac{V - V_0}{V_0 \beta}$$

 $\Delta V=V-V_0$  va  $V_0=m/\rho_0$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$t_2 = \frac{\Delta V \rho_0}{m \beta}$$

va

$$Q = cm \left( \frac{\Delta V \rho_0}{m \beta} - t_1 \right)$$

bo'ladi.

Chiziqli va hajmiy kengayish orasidagi bog'lanish  $\beta=3\alpha$  va  $t_1=0^\circ\text{S}$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$Q = c \frac{\Delta V \rho_0}{3\alpha}$$

bo'ladi.

Hisoblaymiz:

$$Q = c \frac{\Delta V \rho_0}{3\alpha} = \frac{3,8 \cdot 10^2 \cdot 10^{-5} \cdot 8,9 \cdot 10^3}{3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5}} \text{ J} = 6,65 \cdot 10^4 \text{ J}$$

**3-masala**

Ishlab chiqarilgan po'latning elastiklik chegarasi  $5,72 \cdot 10^8$  Pa, uzunligi 3 m, kesimi  $1,2 \text{ mm}^2$  bo'lgan po'lat sim cho'zilish kuchi ta'sirida 8 mm ga uzaysa, deformatsiya elastikmi yoki plastikmi? Qanday kuch ta'sirida bu deformatsiya yuzaga keladi? Po'lat uchun Yung moduli  $E=1,96 \cdot 10^{11}$  Pa.

**Berilgan:**

$$\sigma_{el}=5,72 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$l=3 \text{ m}$$

$$S=1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\Delta l=8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$E=1,96 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$F=?$$

### Masalaning yechilishi:

Simdagi deformatsiya turini aniqlash uchun, undagi mexanikaviy kuchlanish  $\sigma$  ni topamiz va elastiklik chegarasi  $\sigma_{el}$  bilan taqqoslaymiz. Mexanikaviy kuchlanishni Guk qonunidan topamiz:

$$\sigma = E \varepsilon$$

bu yerda

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l}$$

Hisoblaymiz:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1,96 \cdot 10^{11} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{3} = 5,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

Demak,  $\sigma < \sigma_{el}$  deformatsiya elastik ekan.

Endi, deformatsiyani yuzaga keltirgan kuchni topamiz:

$$F = \sigma S$$

Hisoblaymiz:

$$F = \sigma S = 5,72 \cdot 10^8 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 627 \text{ N}$$

### 4-masala

Uzunligi 0,5 m, kesimi 2 sm<sup>2</sup> bo'lgan po'lat sterjenga 5 t yuk osilgan. Agar po'latning cho'zilishida elastiklik chegarasi 1,25·10<sup>9</sup> Pa bo'lsa, sterjenning mustahkamlik zahirasi qanchaga teng? Sterjenning nisbiy uzayishi va elastik deformatsiya energiyasini toping.

**Berilgan:**

$$l=0,5 \text{ m}$$

$$S=2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$m=5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\sigma_{el}=1,25 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$g=9,8 \text{ m/s}^2$$

$$E=2,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$n=?$$

$$\varepsilon=?$$

W=?

**Masalaning yechilishi:**

Sterjenning mustahkamlik zahirasini quyidagi formuladan topamiz:

$$n = \frac{\sigma_{el}}{\sigma}$$

$\sigma = \frac{F}{S}$  va  $F=mg$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$n = \frac{\sigma_{el} S}{mg}$$

bo'ladi. Nisbiy uzayishni esa quyidagi formuladan topamiz:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{mg}{ES}$$

$F=mg$  deformatsiyalovchi kuchni va  $\Delta l$  absolyut deformatsiyani bilgan holda elastik deformatsiya energiyasi  $W$  ni topamiz:

$$W = \frac{\Delta l \cdot F}{2}$$

Bu yerda,

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l = \frac{mgl}{ES}$$

Hisoblaymiz:

$$n = \frac{1,25 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^3 \cdot 9,8} \approx 5,1$$

$$\varepsilon = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{2,2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,5}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 14 \text{ J}$$

## IX. BO'LIM

### ERITMA VA QOTISHMALAR

#### *Eritmalar. Raul qonuni*

Qattiq jismlarning suyuqlilarda yoki bir suyuqlikning ikkinchi suyuqlikda erishi, yopiq idishdagi suyuqlikning bug'lanishi va to'yingan bug'ning hosil bo'lish jarayonini eslatadi. Misalan, suvli idish tubida joylashtirilgan kristallning (osh tuzi) erishi davom etadi, qachonki kristall erishi va eritma molekulalarining kristall sirtida o'tirish jarayoni dinamik muvozanat holatga kelgunga qadar. Dinamik muvozanatga kelgan eritmaga *to'yingan eritma* deb aytiladi. Haroratning oshishi bilan bir oz miqdorda qattiq faza eriydi, haroratning pasayishi bilan esa erigan moddaning bir qismi kristallanadi. Izotermik bug'lanishda to'yingan eritmada erigan moddaning massasi olinadi, ya'ni bir miqdori kristallanadi. Suyuqliklarning bir-birida erishi to'liq va qisman bo'lishi mumkin, ayrim suyuqliklar esa boshqa bir suyuqliklarda umuman eriyadi. Masalan: suv va spirt bir-birida to'liq, suv va anilin qisman eriydi, simob va suv bir-birida umuman erimaydi. Suyuqliklarning bir-biriga eruvchanligi haroratga bog'liq. Ayrim suyuqliklarda eruvchanlik haroratga mutanosib bo'lsa, ayrimlarida nomutanosib va to'liq eruvchanlik kritik haroratdan past haroratlarda kuzatiladi.

Raul erigan moddaning kam konsentratsiyalarida eritma to'yingan bug'larining elastikligi konsentratsiyaga mutanosib ekanligini ko'rsatdi.

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n + N}$$

$P_0$  – toza erituvchining to'yingan bug' elastikligi,  $P$  - eritma to'yingan bug'larning elastikligi,  $n$  – erituvchi  $N$  molekulalariga to'g'ri keluvchi erigan modda molekulalarining soni

Bunga **Raulning 1-qonuni** deb aytiladi.

Eritma to'yingan bug'i elastikligining kamayishi eritmaning qaynash haroratini oshishiga olib keladi. Bu oshish **Raulning 2-qonuniga** mos tushadi.

$$\Delta T = E \frac{g}{\mu}$$

bu yerda  $E = \frac{2T^2}{G\lambda}$  – berilgan erituvchi uchun doimiy kattalik,  $g$  –  $G$  gramm erituvchida erigan moddaning gramm soni,  $\mu$  - erigan moddaning molekulyar og'irligi,  $\lambda$  –  $T$  qaynash haroratidagi bug'lanish issiqligi.

**Raulning 3-qonuni** eritma qotish haroratining kamayishini ifodalaydi, ya'ni:

$$\Delta T = k \frac{g}{\mu}$$

$k = \frac{2T_0^2}{G\lambda}$  – krioskopik doimiylik,  $T_0$  – eritmaning qotish harorati,  $r$  – kristallanish issiqligi,  $g$  va  $G$  qiymatlari yuqorida (2-qonunda) ko'rsatildi; suv uchun  $k=18,4$ .

Raulning 1 va 2 qonunlari molekulyar og'irlikni aniqlashda ko'proq ishlatiladi.

### ***Disperslik to'g'risida tushuncha. Kolloidlar***

Modda ichida boshqa bir moddaning ma'lum darajada maydalangan zarrachalar holda taqsimlanishi natijasida vujudga kelgan sistema ***dispers sistema*** deyiladi. Ma'lum darajada maydalangan holda taqsimlangan modda dispers faza (yoki faza) deb, bu modda taqsimlangan (uni o'rab olgan) modda esa dispers muhit (yoki muhit) deb ataladi. Eritmalarni ham dispers sistemalar deb qarash mumkin. Agar dispers faza zarrachalarining o'lchami  $10^{-9}$  m va  $10^{-7}$  m (ya'ni 1 nanometr bilan 100 nanometr orasida) bo'lsa, ***kolloid eritma*** deyiladi. Agar u  $10^{-9}$  m dan kichik bo'lsa ***chin eritma*** bo'ladi.

Barcha eritmalar o'zidan elektr tokini o'tkazish tabiatiga qarab ikki sinfga bo'linadi: ***elektrolit va noelektrolitlar***. Elektrolit eritmalar o'zlaridan elektr tokini yaxshi o'tkazadi. Bu xil eritmalarga kislota, asos va tuzlarning suyuq eritmaları misol bo'la oladi. Noelektrolit eritmalarga ko'proq organik moddalar eritmasi kiradi.

Biz quyida noelektrolit – chin eritmalar to'g'risida so'z yuritamiz. ***Chin eritma ikki (yoki bir qancha) moddaning bir jinsli aralashmasidir.*** Chin eritma har xil agregat holatlarda bo'lishi mumkin, biz quyida, asosan, suyuq eritmalar ustida to'laroq to'xtalib o'tamiz.

Suyuq eritmalar erituvchi va erigan yoki eruvchi moddadan tashkil topadi. Chin eritmada dispers ***muhit erituvchi***, dispers ***faza eruvchi*** deb ataladi. Erish jarayonida o'z agregat holatini saqlab qolgan modda ***erituvchi*** hisoblanadi. Agar olingan moddalar o'z agregat holatini saqlab qolsa, u holda miqdori ko'p modda erituvchi bo'ladi. Oddiy sharoitda qattiq holda bo'lib (masalan, tuz, metall, metall oksidlari) ularning aralashmasi qizdirib suyuqlikka aylantirilganda hosil bo'lgan suyuq aralashmada, sovutilganda birinchi navbatda (oldin) kristallangan, yoki



cho'kmaga tushgan modda eruvchi hisoblaniladi. Chin eritmada erigan modda erituvchi molekulalari ichida ayrim molekula yoki ionlar holida bir tekis tarqalgan bo'ladi. Molekula (ion) ko'zga yoki mikroskopda ko'rinadigan chegara sirtiga ega bo'lmaganligidan eritmaning xossalari hamma joyda bir xil bo'ladi. Shu sababli **chin eritma bir fazali**, ya'ni **gomogen sistema** hisoblanadi.

Eritmalarning xossalarini tushuntirishda ikkita nazariyadan: fizik va kimyoviy nazariyalardan foydalaniladi. **Fizik nazariyaga ko'ra** erigan moddaga inert erituvchida tarqalgan gaz deb qaraladi (Vant-Goff, Arrenius bo'yicha). **Kimyoviy nazariyaga muvofiq**, erituvchi bilan turli kimyoviy birikmalar hosil qiladi (D.I.Mendeleyev va boshqalar bo'yicha).

Eritmalarda, asosan, ikki masala o'rganiladi: *eruvchanlik* – ma'lum sharoitda, ma'lum erituvchida qancha moddaning erishi va *eritmaning xossalari* va bu xossalarning eritmani tashkil qilgan moddalar xossasiga va miqdoriga bog'liqligi. Bu masalalarning ikkalasi ham amaliy ahamiyatga ega. Birinchi masala to'g'risida ko'p tajriba ma'lumotlariga egamiz, ammo ular umumlashtirilmagandir. Birinchi masalaga nisbatan ikkinchi masala ko'proq o'rganiladi.

**Eritmaning tarkibi uning konsentratsiyasi bilan tavsiflanadi.** Eritma yoki erituvchining ma'lum og'irlik miqdori yoki hajmidagi erigan modda miqdoriga **konsentratsiya** deyiladi. Konsentratsiyani bir necha usulda ifodalash mumkin: hajm va og'irlik o'lchamlarida (birligida). Hajm birligida ifodalangan konsentratsiyaga – normal, molyar, og'irlik o'lchamida ifodalangan konsentratsiyaga foiz, mol, mol nisbati (mol foizi) kiradi, bir sistemadan ikkinchisiga o'tish uchun eritmaning zichligi  $\rho = \frac{m}{v}$  ma'lum bo'lishi kerak. Amalda ko'pincha mol nisbati (mol foizi) ifodasidan foydalaniladi. Eritma bir qancha komponentlardan (tarkibiy qismlardan) tashkil topgan deb, erituvchi-eruvchi tushunchasi qo'llanilmaydi. Agar  $n_1, n_2, \dots, n_i$  lar  $1, 2, 3, \dots, i$  moddalarning eritmadagi mol sonlari bo'lsa,  $i$  komponentning mol nisbati:

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$$

Demak,  $\sum N_i = 1$  bo'ladi.

Agar  $N_i = 100 \cdot N_i$  bo'lsa, mol foiz bo'ladi. Bundan:

$$\sum N_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \cdot 100 ,$$

$$\sum N_i = 100$$

## Eritma turlari. Termodinamik faollik

Eritmalar uch turga bo'linadi: ideal eritmalar, cheksiz suyultirilgan eritmalar va real eritmalar.

**Ideal eritmalar** deb bir xil agregat holatdagi va istalgan nisbatdagi tarkibiy qismlardan hosil bo'ladigan issiqlik effekti ajralmaydigan hajm o'zgarmaydigan ideal gazlar aralashganda entropiyaning o'zgarishi sodir bo'lgan o'zgarishga  $\Delta S = \Delta S_{ideal}$  hamda

$$\Delta V = 0, \Delta H = 0 \quad (1)$$

teng bo'lgan eritmalariga aytiladi.

Ideal eritmalarining termodinamik xossasi partzial molyar kattaliklar yordamida ifodalaniladi. Masalan, bir mol eritma uchun

$$\begin{aligned} \Delta V &= N_1 \Delta V_1 + N_2 \Delta V_2 \\ \Delta H &= N_1 \Delta H_1 + N_2 \Delta H_2 \\ \Delta S_{id} &= N_1 \Delta S_{1,id} + N_2 \Delta S_{2,id} \end{aligned} \quad (2)$$

va hokazo.

Ideal gazlar aralashganda entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S_{id} = -R(N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2)$$

(1) va (2) tenglamalardan:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 = 0 \quad \Delta V_1 = 0 \quad \Delta S_{1,id} = -R \ln N_1 \\ \Delta H_2 = 0 \quad \Delta V_2 = 0 \quad \Delta S_{2,id} = -R \ln N_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Ideal eritmalarini ideal gazlardan farqi shundaki, ideal gazlarda zarrachalar orasida o'zaro ta'sir yo'q, lekin *ideal eritmalarining zarrachalari orasida o'zaro ta'sir bor*, ammo bu ta'sir turli xil zarrachalarda bir xil, ya'ni bir xil va har xil zarrachalar orasida bir xil o'zaro ta'sir mavjuddir. O'xshash xossali moddalardan tashkil topgan eritmalar ideal eritmalariga mos keladi. Eritma hosil bo'lgandagi komponentlar kimyoviy potensialining o'zgarishi

$$\Delta \mu_i = \Delta H_i - T \Delta S_i \quad (4)$$

Ideal eritmalar uchun

$$\begin{aligned} \mu_i = \mu_i^0 + RT \ln N_i \\ d\mu_i = RT d \ln N_i = RT \frac{dN_i}{N_i} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left( \frac{d\mu_i^0}{dN_i} \right) = \frac{RT}{N_i} \quad (6)$$

$\mu_1^0$  va  $\mu_2^0$  toza erituvchi va eruvchining kimyoviy potentsiali bo'lsa:

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_i = \left( \frac{d\mu_i}{dN_i} \right)_{TP} = \frac{RT}{N_i} \\ \mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln N_1 \end{aligned}$$

$$d\mu_1 = RT d \ln N_1 = RT \frac{dN_1}{N_1}$$

$$\left( \frac{d\mu_1}{dN_1} \right) = \frac{RT}{N_1}$$

Agar aralashayotgan moddalar suyuq holda bo'lsa, ideal eritmada issiqlik effekti nolga teng bo'ladi. Agar erituvchi qattiq holda bo'lsa, Gess qonuniga muvofiq uning erish issiqligi effekti suyuqlanish issiqlik effektiga teng bo'ladi:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$Q$  – erish issiqlik effekti,  $Q_1$  – kristall panjarani buzishga sarf bo'lgan energiya issiqligi,  $Q_2$  – eruvchi va erituvchining ta'sirlanishi natijasida ajralgan issiqlik. Ideal eritmalarda  $Q_2 = 0$  bo'lganligidan  $Q = Q_1$  bo'ladi. Yani erish issiqligi eruvchining yashirin suyuqlanish issiqligiga teng.

Cheksiz suyultirilgan eritma bu xil eritmalarda erigan moddaning konsentratsiyasi cheksiz kichik bo'ladi. Ideal bo'lmagan har qanday cheksiz suyultirilgan eritmalarda erituvchiga nisbatan ideal eritmalarning hamma tenglamalarini qo'llash mumkin.

Ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalar termodinamikasiga bo'ysunmaydigan eritmalar real eritmalar jumlasiga kiradi.

Real eritmalarning xossalari eritma konsentratsiyasidan tashqari, eritmaning komponentlari orasidagi o'zaro ta'sirga ham bog'liq. Shunga ko'ra eritmaning xossalari bilan eritma konsentratsiyasi orasidagi bog'lanishni o'rganishda bu ta'sirni ham e'tiborga olish kerak, Lyuisning nazariyasida shu holat e'tiborga olingan. Real eritmada konsentratsiya ( $n$ ) o'rniga termodinamik faollik qo'llaniladi. Lyuis ta'rifiga ko'ra

$$a = \gamma n$$

$a$  – termodinamik faollik,  $\gamma$  – termodinamik faollik koeffitsiyenti (yoki faollik koeffitsiyenti),  $n$  – konsentratsiya

Ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalarda  $\gamma = 1$  va  $a = n\gamma$  zarrachalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini aks ettriadi, termodinamik faollik koeffitsiyenti ma'lum real eritma xossalarining qabul qilingan standart holatdan chetlanishini tavsiflaydi.

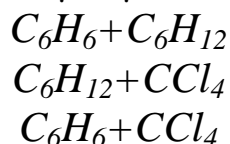
Termodinamik tenglamalar real eritmalariga to'g'ri kelgani uchun, ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalariga mansub termodinamik tenglamalarda konsentratsiya ifodasi o'rniga termodinamik faollik ifodasini qo'llash kerak. Masalan, komponentlarning kimyoviy potentsiali quyidagicha:

$$d\mu_i = R T \ln a_i \quad \mu_i = \mu_i^0 + R T \ln a_i \quad (7)$$

ya'ni

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_1^0 + R \ln a_1; \quad d\mu_1 = R \ln a_1 \\ \mu_2 &= \mu_2^0 + R \ln a_2; \quad d\mu_2 = R \ln a_2 \end{aligned} \quad (8)$$

1,2 eruvchiga mansub belgilar;  $\mu^0$  – standart holatdagi kimyoviy potensial deyiladi. Bir birida cheksiz nisbatda aralashadigan komponentlar eritmalari uchun  $\gamma=1$ ,  $a=1$  va  $\mu_1=\mu_1^0, \mu_2=\mu_2^0$



kabi qutblanmagan assosilanmagan moddalar eritmasida ularni bir xil agregat holatda aralashirilganda  $\Delta V=0$ ;  $\Delta H=0$ . Lekin entropiyaning o'zgarishi ideal gazdagidek bo'ladi, bir xil va har xil molekularning tortishuvi deyarli teng ya'ni ideal eritmaga yaqinlashadi. Shunga ko'ra,  $\gamma=1$ ,  $a=1$  qabul qilinsa xato bo'lmaydi.

$\mu^0$  standart kimyoviy potensial.

Kimyoviy potensialni hisoblashda eritmani tashkil qilgan moddalarning xossasiga qarab ikki xil standart holat qabul qilingan.

**Birinchi standart holat** – agar komponentlari bir-birida har xil nisbatda aralashsa, standart holat sifatida toza moddalar qabul qilinadi va faollik koeffitsiyenti birga teng bo'ladi, ya'ni  $\gamma=1$ ,  $a_1=1$ ;  $a_2=1$ . Demak, bunday holatda (7) tenglamaga muvofiq

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_1^{0,1} \\ \mu_2 &= \mu_2^{0,2} \end{aligned}$$

“1” raqami 1 standart bo'yicha hisoblanganini ko'rsatadi.

**Ikkinchi standart holat** – agar komponentlardan bittasi boshqasida chegarali nisbatda erisa, erituvchi uchun birinchi standart qabul qilingan. Bu holda faollik koeffitsiyenti birga teng ( $\gamma=1$ ) deb qabul qilinadi. Demak  $a_2=c=1$  va (7) tenglamaga muvofiq

$$\mu_2 = \mu_2^{0,11}$$

### **Osmotik bosim**

Erituvchini o'tkazadigan, ammo erigan moddani o'tkazmaydigan parda **yarim o'tkazgich parda** deyiladi. Agar eritma erituvchidan yarim o'tkazgich parda bilan ajratilgan bo'lsa, erituvchi o'z-o'zicha eritmaga o'tadi. Bu hodisa **osmos** deyiladi. Erituvchini eritmaga o'tkazmasdan erituvchi bilan eritma orasidagi muvozanatni saqlash uchun eritmaga berilishi kerak bo'lgan bosim  **$\pi$  osmotik bosim** deyiladi. Muvozanatda toza erituvchining kimyoviy potentsiali  $\mu_1^0$  o'zaro teng bo'ladi. Eritmadagi

kimyoviy potentsiali osmotik bosim  $\pi$  ga teng va eritmaning konsentratsiyasiga bog'liq. Muvozanat qaror topganda:

$$\mu_1(N_1\pi) = \mu_1^0 \quad (1)$$

Bu ifodani  $T = \text{const}$  da differensiallasak va  $d\mu_1 = 0$  ekanligini e'tiborga olsak:

$$\left(\frac{d\mu_1}{dN_1}\right) dN_1 + \left(\frac{d\mu_1}{d\pi}\right) d\pi = 0 \quad (2)$$

Binobarin:

$$\left(\frac{d\mu_1}{d\pi}\right)_N = V_1 \quad (3)$$

$V_1$ -erituvchining eritmadagiparsial mol hajmi.

Erituvchining eritmadagi partsial mol hajmi

$$\frac{d\pi}{dN_1} = -\frac{1}{V_1} \left(\frac{d\mu_1}{dN_1}\right)_{T,\pi} \quad (4)$$

Bu tenglama osmotik bosimni eritmaning konsentratsiyasiga va erituvchining kimyoviy potentsialiga bog'lanishini ifodalaydi.

Agar eritma cheksiz suyultirilgan bo'lsa, erituvchining parsial mol hajmi  $V$  toza erituvchining molyar hajmi  $d_1$  ga teng, deb faraz qilish mumkin:

$$\begin{aligned} \mu_i &= \mu_0 + RT \ln N_i; \\ d\mu_i &= RT \ln N_i; \end{aligned}$$

Bu tenglama e'tiborga olinsa (4) bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\frac{d\pi}{d \ln N_1} = -\frac{RT}{V_1^0} \quad (5)$$

Bu tenglama 0 dan  $\pi$  gacha va  $N_1$  dan 1 gacha integrallansa,

$$\pi = -\frac{2,3RT}{V_1^0} \lg N_1 \quad (6)$$

$\lg N_1$  qatorlarga ajratilsa,  $\lg N_1 = -\lg(1 - N_2) \approx N_2$

$$\pi = \frac{N_2 RT}{V_1^0}$$

va  $\pi = \frac{N_2}{V_1^0} = c$  eritmaning konsentratsiyasi mol/l bo'lganda:

$$\pi = C \cdot R \cdot T \quad (7)$$

Bu **Vatt-Goffning osmotik bosim qonuni** tenglamasidir. Bu tenglamada  $R$  ning son qiymati universal gaz doimiysi ( $R$ ) ning qiymatiga teng. Vatt-Goff qonuni tajriba natijasida yaratilgan. Bu qonun ideal eritmalargagina mosdir.

Real eritmalar uchun:

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i$$

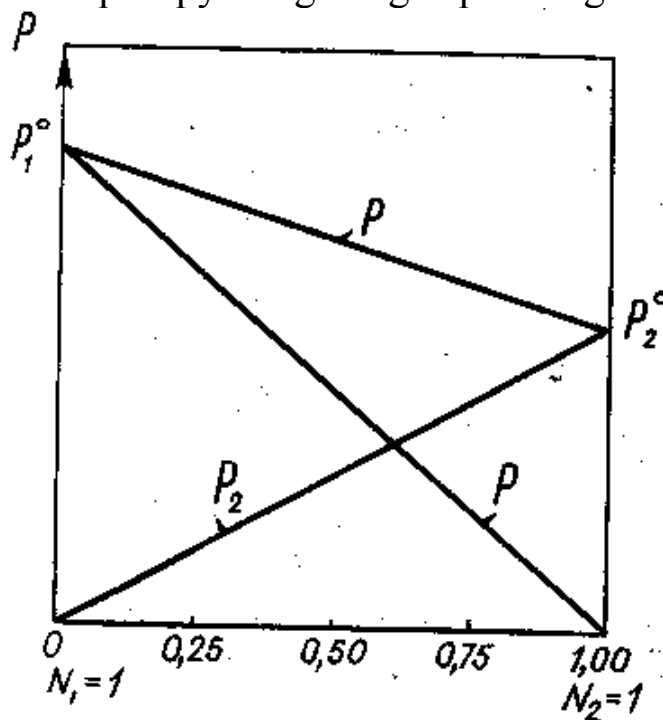
Bu tenglamani  $N_1$  – bo'yicha differensiallab (4) tenglamaga qo'yilsa:

$$\frac{d\pi}{dN_1} = -\frac{RT}{V^0} \left( \frac{d \ln_1}{dN_1} \right) \quad (8)$$

Bu tenglamada  $V$ -erituvchining parsial molyar hajmi: real eritmalarda osmotik bosimning eritma konsentratsiyasiga qarab o'zgarishini ifoda qiladi.

### *Eritmalarning muzlash haroratlari*

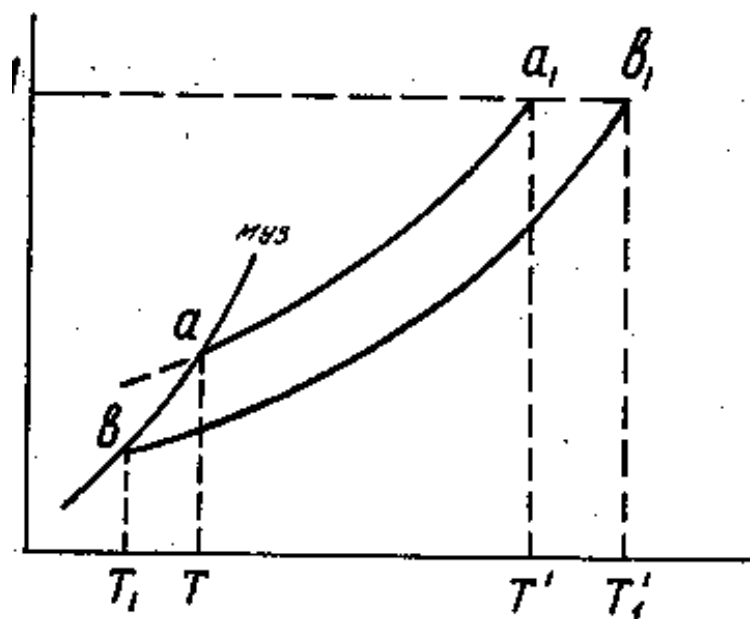
Faraz qilaylik, biror uchuvchan emas (masalan, qattiq modda) modda biror suyuqlikda (masalan, suvda) erib cheksiz suyultirilgan eritma hosil qilsin. Bunda eritmaning bug' bosimi ( $P$ ) erituvchining eritmadagi bug' bosimi  $P_1$  ga teng bo'ladi va erituvchi uchun Raul qonunini qo'llash mumkin bo'ladi. 1-rasmda sof erituvchi bug' bosimi  $P_1^0$  ning va eritma bug' bosimi  $P$  ning harorat bilan o'zgarishi tasvirlangan. Bundan harorat o'zgarishi bilan bug' bosimining naqadar keskin o'zgarishi bir fazadan ikkinchi fazaga o'tish issiqlik qiymatiga bog'liq ekanligi ko'rsatilgan.



1-rasm. Raul qonuning grafik tasviri.

Muzlash issiqligi bug'lanish issiqligidan ancha katta bo'ladi. Harorat o'zgarishi bilan qattiq moddaning bug' bosimi suyuq moddaning bosimiga qarab keskin o'zgaradi. Shu sababli harorat o'zgarishi bilan qattiq moddaning bug' bosimi erituvchi va eritmaning bug' bosimlarini kesib o'tadi.

Suyuq va qattiq moddalarning kimyoviy potentsiallari (yoki bug' bosimlari) bir-biriga tenglashganda *muzlash* ro'y beradi (2-rasm).



2-rasm. Harorat o'zgarishi bilan muz, suv, eritma bug' bosimlarining o'zgarishi.

Demak, *muzlash haroratida suyuq va qattiq moddalarning bug' bosimlari bir-biriga tenglashadi*, *a* nuqtada eruvchi(suv)ning bug' bosimi, *b* nuqtada eritmaning bug' bosimi muzning bug' bosimi tenglashadi. Demak, *a* nuqtada suv va *b* eritmada *muzlaydi*. Suvning bug' bosimi *T* haroratda, eritmaning bug' bosimi esa *T<sub>1</sub>* haroratda muzning bug' bosimiga tenglashadi. Demak, *T* suvning va *T<sub>1</sub>* eritmaning muzlash haroratidir. Diagrammada ko'rsatilishicha, *T<sub>1</sub>* hamma vaqt *T* dan past bo'ladi. Shunday qilib, *eritma hamma vaqt erituvchiga nisbatan past harortda muzlaydi*:  $T > T_1$ ;  $\Delta T = T - T_1$ ;  $\Delta T$  – eritma muzlash haroratining pasayishi deb ataladi.

*Suyuqlikning bug' bosimi atmosfera bosimiga tenglashganda suyuqlik qaynay boshlaydi*. Qaynash haroratida suyuqlikning bug' bosimi atmosfera bosimiga tenglashadi. *Eritma hamma vaqt erituvchiga nisbatan yuqori haroratda qaynaydi*.  $T_1 > T$ ;  $\Delta T = T_1 - T$ ;  $\Delta T$  – eritma qaynash haroratining ko'tarilishi deb ataladi.

Eritma muzlash haroratining pasayishi va qaynash haroratining ko'tarilishi eritmaning konsentratsiyasiga mutanosibdir. Eritmaning konsentratsiyasi ortgan sari erituvchi bilan eritmaning bug' bosimlari orasidagi tafovut ortadi,  $\Delta T$  ham ortadi:

$$\Delta T = EC \quad (1)$$

Bunda,  $C$  – molyar konsentratsiya,  $E$  – faqat erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan mutonosiblik kattaligi. Agar  $C=1$  bo'lsa,  $\Delta T=E$  bo'ladi. Demak,  $E$  – bir molyar eritma muzlash haroratining pasayishi (yoki qaynash haroratining ko'tarilishi),  $E$  kattalik muzlash haroratining molyar pasayishi (qaynash haroratining molyar ko'tarilishi), yohud **krtioskopik konstanta** deyiladi. Turli eruvchilarning qanday bo'lmasin biror erituvchidagi bir molyar eritmasida erigan moddalarning molekulari soni bir xil bo'ladi, demak Raul qonuniga muvofiq bug' bosimining pasayishi ham bir xil bo'ladi. Shunday qilib,  $E$  ning son qiymati erigan moddaning tabiatiga emas, balki erituvchining tabiatiga bog'liqdir. Masalan, suvning krioskopik konstantasi 1,86 ga, benzolniki 5,12 ga teng. Suvning ebulioskopik konstantasi 0,52 ga, benzolniki 2,6 ga teng.

Agar  $G$  gramm erituvchida  $g$  gramm modda erigan bo'lsa, bu eritmaning mol konsentratsiyasi:

$$C = \frac{g \cdot 1000}{MG} \quad (2)$$

Bunda:  $M$ -erigan moddaning molekulyar massasi  $G$  ning bu qiymatini (2) tenglamaga qo'yib,  $M$  topiladi:

$$M = E \frac{g}{G} \cdot \frac{1000}{\Delta T} \quad (3)$$

Shunday qilib, **erigan moddaning molekulyar massasini, eritma muzlash haroratining pasayishidan foydalanib aniqlash mumkin.**

### **Absorbsiya**

Qaynash jarayonidan, ma'lumki suvda ma'lum miqdorda yutilgan havo mavjud. Bu faqatgina havo emas, balki boshqa gazlar uchun ham o'rinlidir. Suyuqlik hamma vaqt aniq bir miqdorda gaz molekularini o'zida yutgan bo'ladi.

Bug', gaz yoki tutunli gazlarning hamda bug' gaz aralashmalaridagi bir va bir necha komponentlarning suyuqlik hajmida yutilish jarayoni **absorbsiya** deb ataladi. Yutilayotgan gaz absorbtiv, yutuvchi suyuqlik absorbsent deyiladi. Absortiv bilan absorbtentning o'zaro ta'siriga ko'ra absorbsiya jarayoni ikki xil bo'ladi: fizik absorbsiya va kimyoviy absorbsiya (xemosarbsiya). Fizik absorbsiyada yutilayotgan gaz bilan absorbtent o'zaro bir-biri bilan kimyoviy birikmaydi. Agar yutilayotgan gaz absorbtent bilan o'zaro birikib, kimyoviy birikma hosil qilsa, xemosorbsiya deyiladi.

Fizik absorbsiya ko'pincha qaytar jarayondir, ya'ni suyuqlikka yutilgan gazni ajratib olish mumkin bo'ladi, bu hol **desorbsiya** deyiladi.



Absorbsiya bilan desorbsiya jarayonlarini uzluksiz olib borish natijasida yutilgan gazni toza holda ajratib olish va yutuvchi absorbentni bir necha marta qayta ishlatish imkoni tug'iladi. Absorbent va absorbent arzon va ikkilamchi mahsulot bo'lgani uchun, ular absorbsiya jarayonidan keyin ko'pincha qayta ishlatilmaydi (masalan, gazlarni tozalaganda).

Sanoatda absorbsiya jarayoni turli maqsadlarda qo'llaniladi: 1) gaz aralashmalaridan qimmatbaho komponentlarni (masalan, krekinglangan gazlardan yoki metan pirolizidan asetilen, koks gazi aralashmalaridan ammiak, benzolin; neftni qayta ishlash natijasida hosil bo'lgan gaz aralashmalaridan har xil uglevodorod va shu kabilarni) ajratib olishda; 2) komponentlarni har xil zaharli moddalardan tozalash uchun (mineral o'g'itlarni olishda hosil bo'lgan gaz aralashmalarini fluor birikmalaridan, ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini fluor birikmalaridan ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini CO va CO<sub>2</sub> oksidlardan tozalashda); 3) tayyor mahsulotlar masalan SO<sub>3</sub> va azot oksidlar, HCl ning suvda yutilishi natijasida kislotalar olishda va hokazo.

Absorbsiya jarayonida suyuqlik tarkibidagi gazning miqdori suyuqlik va gazning xususiyatiga, bosim, harorat va gaz fazasining tarkibiga bog'liq. Suyuqlik bilan biror gaz aralashmasining o'zaro ta'siri natijasida taqsimlanuvchi komponent A tashuvchi komponent B yordamida suyuqlik erigan bo'lsa, fazalar qoidasiga muvofiq komponentlarning soni va erkinlik darajasi uchga teng bo'ladi. Demak, gaz suyuqlik sistemasida ikkala fazaning harorati, bosimi va konsentratsiyasi o'zagrishi mumkin. Shuning uchun o'zgarmas harorat va umumiy bosimda muvozanat holdagi gazning parsial bosimi (yoki uning konsentratsiyasi) bilan suyuq faza tarkibining o'zaro bog'lanishi bir xil bo'ladi. Bu bog'lanish Genri qonuni bilan ifodalaniib, erigan gazning parsial bosimi eritmadagi uning mol qismiga mutanosibdir:

$$P_A = E \cdot X_A \quad (1)$$

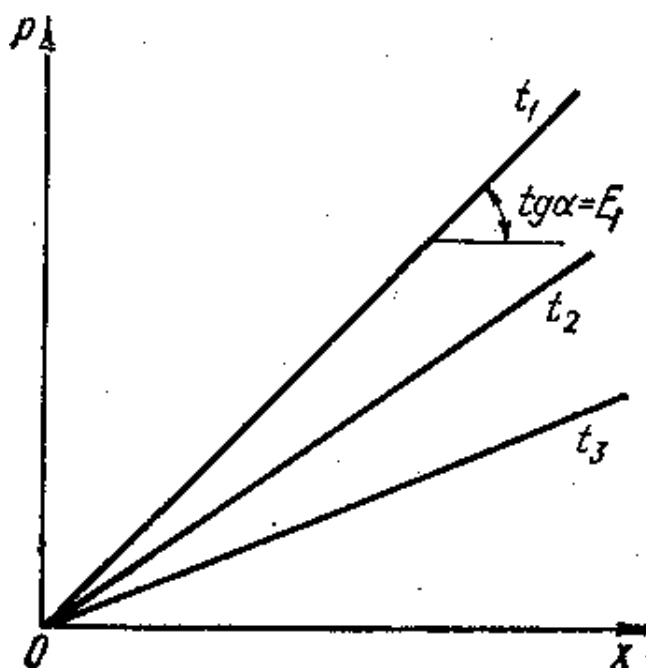
Suyuqlikdagi gazning eruvchanligi (yutilgan komponenti A) ma'lum haroratda uning suyuqlik yuzasidagi parsial bosimiga mutanosibdir:

$$X^* = P_A / E \quad (2)$$

Genri koeffitsiyentining miqdori berilgan gaz uchun yutilayotgan suyuqlik va gazning tarkibiiga, haroratiga bog'liq bo'lib, sistemaning umumiy bosimiga bog'liq emas. E ning haroratga bog'liqligi quyidagi tenglama bilan aniqlaniladi:

$$\ln E = -q/R \cdot T + C \quad (3)$$

bu yerda q – eriydigan gazning differensial issiqligi, R – gaz doimiysi, C – yutayotgan suyuqlik gazning tabiatiga bog'liq bo'lgan o'garmas kattalik.



3-rasm. Gazning suyuqlikda erishda haroratning ta'siri.

Ideal suyuqliklar uchun har xil haroratda konsentratsiyaning bosim bilan o'zaro bog'lanishi  $P-x$  diagrammada to'g'ri chiziq ko'rinishida Genri koeffitsiyentiga teng bo'lgan og'ma chiziqlar orqali tasvirlanadi. 3-rasmga va (3) tenglamaga muvofiq, harorat ortishi bilan Genri koeffitsiyentining miqdori ( bir xil sharoitda) ortadi, (2) tenglamaga muvofiq esa gazning suyuqlikdagi eruvchanligi kamayadi.

### *Adsorbsiya*

Gaz aralashmalari hamda eritmalardagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon qattiq jismlar yuzasi bo'ylab (adsorbentda) yutilish jarayoni **adsorbsiya** deyiladi. Yutiluvchi modda adsorbant yoki adsorbentiv deyiladi. Har bir adsorbent murakkab aralashmalarda ma'lum komponentlarni yutib, aralashmaning boshqa komponentlariga ta'sir qilmaydi. Demak, adsorbentlar tanlovchanlik qobiliyatiga ega, yutilgan modda adsorbentdan desorbsiya yo'li bilan ajratib olinadi.

Adsorbsiya jarayoni ko'pincha gaz va suyuqlik aralashmalaridagi yutilayotgan komponentning konsentratsiyasi kam miqdorda bo'lganda, adsorbentivni butunlay ajratib olish uchun qo'llaniladi. Agar yutilayotgan komponentning konsentratsiyasi yuqori bo'lsa, u holda adsorbsiya jarayoni qo'llaniladi.

Adsorbsiya jarayoni ikki xil bo'ladi: fizik va kimyoviy (xemosorbsiya) bo'ladi.

Fizik adsorbsiyada adsorbent va yutilayotgan komponent o'zaro kimyoviy jihatdan ta'sir qilmaydi. Kimyoviy adsorbsiya jarayonida adsorbent bilan yutilayotgan moddaning molekulari o'zaro ta'sirlashib adsorbentning yuzasida kimyoviy birikma hosil qiladi.

Fizik adsorbsiya jarayonida kam issiqlik ajralib chiqib, bu issiqlik yashirin bug'lanish issiqligi deyiladi va bir necha kaloriyaga teng bo'ladi. Kimyoviy adsorbsiyada esa ajralib chiqadigan issiqlik odatdagi kimyoviy reaksiyalarning issiqlik hisobida bir necha yuz kaloriyaga yetadi. Shunday qilib, kimyoviy adsorbsiya yuqori haroratda kichik tezlikda boradi.

Adsorbsiya jarayonining tanlovchanlik xususiyati adsorbentning va yutilayotgan moddaning tabiatiga, konsentratsiyasiga, haratoratga hamda gazlar yutilayotgan bo'lsa, bosimga ham bog'liq bo'ladi. Adsorbentning faollashgan yuzasi adsorbentning molekulari bilan to'yingandan keyin jarayon to'xtatiladi. Adsorbsiya jarayoninign tezligi esa adsorbentlarning solishtirma yuzalarining kattaligiga bog'liq.

Sanoatda adsorbent sifatida adsorbentning massa yoki birlik hajmiga nisbatan katta solishtirma yuzaga ega bo'lgan g'ovaksimon qattiq moddalar ishlatiladi. Adsorbentlar zarracha ichidagi kapillyar kanallarining kattaligiga qarab shartli ravishda makro, oraliq, mikrog'ovakli bo'ladi. Makrog'ovakli adsorbentlarning kapillyar kanallari diametrining o'lchami  $2 \cdot 10^{-4}$  mm dan yuqori, oraliq g'ovaklilarniki  $6 \cdot 10^{-6}$  -  $2 \cdot 10^{-4}$  mm, mikrog'ovaklarniki esa  $2 \cdot 10^{-6}$  -  $6 \cdot 10^{-6}$  mm bo'ladi.

Adsorbsiya jarayonining xususiyati adsorbent g'ovaklarining kattaligi bilan tavsiflanadi. Makrog'ovakli adsorbentlarning solishtirma yuzasi kichik bo'lgani uchun bunday adsorbentning devorlarida juda kam miqdorda modda yutiladi. Makrog'ovakli adsorbentlarda yutilayotgan molekular ularning kanallari orqali uzatiladi. Oraliq g'ovakli adsorbentlarning yuzasida adsorbsiya jarayoni davomida yutilayotgan modda molekularining kattaligi g'ovak teshiklaridan kichik bo'lgani uchun, yutilayotgan modda qatlami hosil bo'ladi. Adsorbentning yuzasida yutilayotgan modda molekularining soniga nisbatan bir va ko'p molekular qatlami hosil bo'ladi. Bu jarayon mono va polimolekulali adsorbsiya deyiladi.

Mikrog'ovakli adsorbentlarda teshiklarning kattaligi yutilayotgan molekularning kattaligiga teng bo'lib, adsorbsiya davomida mikrog'ovaklarning hajmlari yutilayotgan molekular bilan to'ladi

Shuning uchun jarayon davomida mikrog'ovakli adsorbentlarning yuzasida yutilgan modda qatlaminin fizik jihatdan ahaniyati kam.

Adsorbentlarning muhim tavsiflaridan biri uning faolligi yoki adsorbsiyalanish qobiliyatidir. Uning faolligi adsorbentning birlik massasi yoki hajmda modda yutilish miqdori bilan aniqlaniladi. Adsorbentning moddalarni yutish qobiliyati harorat, bosim va yutilayotgan moddaning konsentratsiyasiga bog'liq. Adsorbentlarning bu sharoitlardagi maksimal yutish qobiliyati shartli ravishda *muvozanat faollik* deyiladi.

Adsorbentlar o'z faoligidan qat'iy nazar, zichligi, ekvivalent diametri, mexanik mustahkamligi, granulometrik tarkibi, yutish yuzasining birlik hajmi bilan tavsiflanadi.

### *Qotishmalar*

Ikki yoki undan ortiq elementlarni birga suyuqlantirish orqali hosil qilingan jism *qotishma* deyiladi.

Metallar bilan metallarning qotishmasi *metall qotishma* deb ataladi. Ko'pi metall yoki metallardan, qolgani esa metallmaslardan iborat bo'lib, metall xossalariga ega qotishmalar ham metall qotishmalar jumlasiga kiradi. Bunday qotishmalarga temir bilan uglerod qotishmalari, ya'ni po'lat bilan cho'yanlar misol bo'la oladi, chunki po'lat bilan cho'yan metall xossalariga ega.

Suyuqlantirmay turib, masalan elektroliz qilish, qizdirib qovushtirish, sublimatlash va boshqa usullar bilan hosil qilingan qotishmalar ham bo'ladi. Bunday qotishmalar *psevdoqotishmalar* deb ataladi.

Qotishmalar sistema deb ham ataladi. Sistema bir komponentli bo'lishi ham mumkin, ammo qotishma bir komponentli bo'la olmaydi, u yuqorida aytib o'tilganidek kamida ikki komponentdan iborat bo'ladi.

Texnikada sof metallar emas, balki ularning qotishmalari ko'p ishlatiladi. Masalan, sof temir texnikada qariyb ishlatilmaydi, ammo temir bilan ugleroddan va juda oz miqdorda ba'zan boshqa elementlardan iborat qotishmalar-po'lat va cho'yanlar keng ko'lamda ishlatiladi.

Qotishmani tashkil etgan elementlarning har biri komponent deb ataladi.

Qotishmalarning suyuq holatdan qattiq holatga o'tishi ularning birlamchi *kristallanishi* deb ataladi.

Qotishmalarning tuzilishi toza metallning tuzilishiga qaraganda ancha murakkabroq bo'ladi. Qotishmaning tuzilishi shu qotishma komponentlarining o'zaro ta'sir etish etmasligiga yoki o'zaro qanday ta'sir

etishiga bog'liqdir. Birlamchi kristallanishda qotishma komponentlari bir-birida eriy olmasligi ham, o'zaro kimyoviy ta'sir etmasligi ham mumkin; bunday hollarda mexanikaviy aralashmalar hosil bo'ladi. Qotishma komponentlari bir-biriga erib, qattiq eritmalar hosil qilishi va bir-biri bilan kimyoviy ta'sir etib, kimyoviy birikmalar hosil qilishi ham mumkin.

Komponentlari suyuq holatda bir-birida eriydigan, ammo qattiq holatda erimaydigan va o'zaro kimyoviy birikma ham hosil qilmaydigan qotishmalar *mexanikaviy aralashmalar* deyiladi. Masalan, A va B komponentlardan iborat qotishma bor, deb faraz qilaylik. Bu qotishma komponentlari suyuq holatda bir-birida erisin, ya'ni suyuq qotishma bir jinsli bo'lsin, ammo kristallanish jarayonida A komponentning atomlari bilan B komponentning atomlari umumiy bir kristall panjaraning tarkibiga kirmay, ya'ni bir-birida erimay, alohida-alohida kristall panjaralar hosil qilsin. Ana shu qotishma batamom kristallangandan keyin mexanikaviy aralashma bo'ladi. Demak, mexanikaviy aralashma A komponent kristallari bilan B komponent kristallaridan iborat qotishmadir.

Mexanikaviy aralashmadagi A komponent kristallarining xossalari toza A komponent xossalari bilan, B komponent kristallarining xossalari esa toza B komponent xossalari bilan bir xil bo'ladi. Binobarin, mexanikaviy aralashma hosil qilgan komponentlarning xossalari o'zgarmaydi.

Qotishma komponentlarining kristall panjaralari bir-biridan boshqacha bo'lsa, komponentlaridan biri atomining diametri ikkinchi komponent atomining diametridan ancha (15-17% dan ortiq) farq qilsa, komponentlar D.I.Mendeleyevning elementlar davriy sistemasida bir-biridan uzoq turgan bo'lsa va ularning suyuqlanish haoratlari anchagina farq qilsa, shundagina mexanikaviy aralashma hosil bo'ladi.

Mexanikaviy aralashmalarga qo'rg'oshin bilan surma qotishmalari misol bo'la oladi. Qo'rg'oshin bilan surma qotishmalari misol bo'la oladi. Qo'rg'oshin bilan surma qotishmalari kristallanganda qo'rg'oshin kristallari bilan surma kristallaridan iborat mexanikaviy aralashma hosil bo'ladi; bunday qotishmaning maxsus ravishda tayyorlangan namunasi mikroskop ostiga qo'yib qaralsa, qoramtir qo'rg'oshin kristallari va kumushrang tusli surma kristallari bir-biridan yaqqol ajralib turadi. Qotishmaning bir-biridan chegara sirt bilan ajralgan bir jinsli bunday qismi faza deb ataladi. Binobarin, ikki komponentli mexanikaviy aralashma ikki fazali qotishmadir.

Qotishmalarning hamma xossalarini to'rtta katta guruhga bo'lish mumkin: *fizik, kimyoviy, mexanik va texnologik*.

Qotishmalarning asosiy fizik xossalari quyidagilar kiradi: zichlik, suyuqlanish harorati, elektr o'tkazuvchanlik, issiqlik o'tkazuvchanlik, issiqlik sig'imi, chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyenti va hokazo. Quyida qotishmalar uchun xarakterli bo'lgan asosiy fizik xossalari keltirilgan.

**Suyuqlanish harorati** (suyuqlanuvchanlik) bu haroratda metall yoki qotishma qattiq holatdan suyuq holatga o'tadi. Metallarning suyuqlanish harorati qanchalik past bo'lsa, suyuqlantirish jarayoni ham shuncha tez o'tadi, bunda odatda eritish texnologiyasi ham oddiy bo'ladi.

**Elektr o'tkazuvchanlik** solishtirma qarshilik bilan tavsiflanadi, bu qarshilik uzunligi 1 metr va ko'ndalang kesim yuzasi  $1\text{mm}^2$  bo'lgan sim orqali o'tgan (Om hisobidagi) qarshilik miqdorini ko'rsatadi. Elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi metallar va qotishmalar (mis, alyuminiy va ularning qotishmalari va hokazo) sim kabel ishlab chiqarishda, mashinalar, mexanizmlar va apparatlarning tok o'tkazuvchi qismlarini tayyorlashda ishlatiladi. Katta qarshilikga ega bo'lgan metallar va qotishmalar (nixrom, konstantan va boshqalar) reostatlar, elektr isitgich asboblari, qizdirish lampalarining ishlarini tayyorlash va boshqa maqsadlar uchun ishlatiladi.

**Chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyenti** metallar va qotishmalarning isitilgan holatdagi kengayish qobiliyatini tavsiflaydi. Materiallarning bu xossasi ko'priki fermalari qurishda, temir yo'l va tramvay relslari yotqizishda, aniq ishlovchi asboblari, o'lchov asboblari va shu kabilar tayyorlashda katta ahamiyatga ega.

**Kimyoviy xossalari** metallar va qotishmalarning turli agressiv muhitlar ta'siriga qarshilik ko'rsatish (korroziyabardoshligi, metall yuzida oksid parda paydo bo'lishiga qarshilik ko'rsatish va hokazo) qobiliyatini ko'rsatadi. Mashina detallari, mexanizmlar va apparatlar uchun metall yoki qotishmalar tanlashda ularning kimyoviy xossalari bilish katta ahamiyatga ega.

**Mexanik xossalari** metall yoki qotishmaning tashqi kuchlar ta'siriga (cho'zilish, siqilish, urilish, egilish, qayrilish va hokazolarga) qarshilik ko'rsata olish qobiliyatini tavsiflaydi. Asosiy mexanik xossalari quyidagilar: mustahkamlik, zarbiy qovushqoqlik, qattqlik, egiluvchanlik, cho'ziluvchanlik va chidamlilik.

**Zarbiy qovushqoqlik** metall yoki qotishmaning tez ortib boruvchi (zarbiy) yuklamaga qarshilik ko'rsatish qobiliyati. U buzilish joyidagi yuz birligiga to'g'ri kelgan quvvatning (ishning) standart namunani buzish uchun sarflangan miqdor bilan o'lchanadi. Zarbiy qovushqoqlik  $\text{J/m}^2$  hisobida ifodalanadi.

***Cho'ziluvchanlik*** metallar yoki qotishmalarning tashqi ta'sir to'xtatilgandan keyin o'zining dastlabki shaklini tiklash xossasi. Cho'ziluvchanlik prujinalar, resoralar, ko'prik konstruksiyalarining fermalari va shu kabilar tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallarda hisobga olinadi.

***Egiluvchanlik*** metallar va qotishmalarning tashqi kuchlar ta'sirida buzilmasdan o'z shaklini o'zgartirishi, tashqi ta'sir to'xtagandan so'ng esa o'zi olgan shaklini saqlab qolish xossasi. Egiluvchanlik nisbiy uzayish miqdori bilan tavsiflanadi. Nisbiy uzayish – namunaning uzilish oldidagi uzunligining dastlabki uzunlikka nisbatan ortishi, bu ortish foiz hisobida ifodalaniladi.

## *Talabalar “Mustaqil ta’limi” ni shakllantirish va tashkil etish bo’yicha taklif va tavsiyalar*

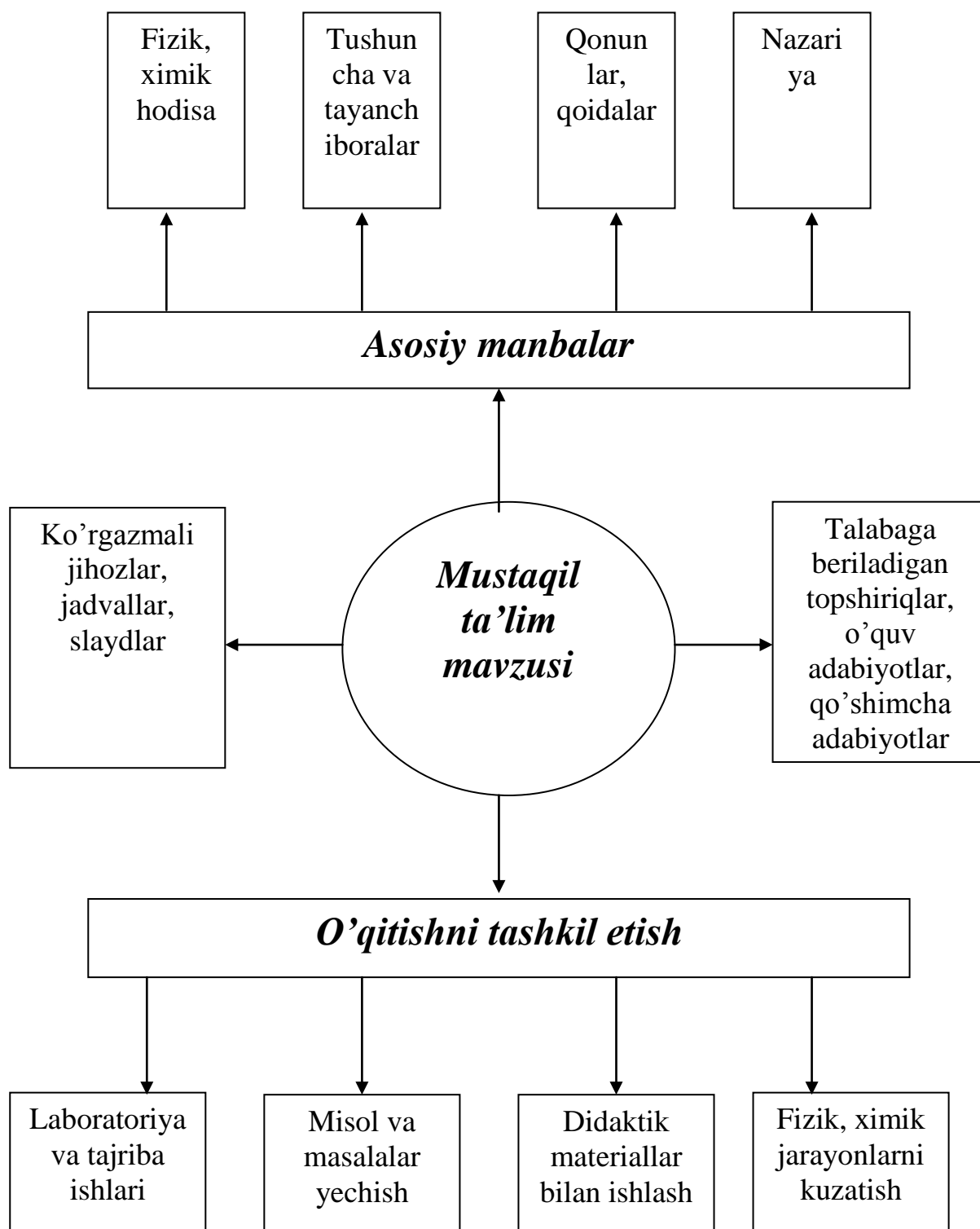
O’zbekiston Respublikasi mustaqillikka erishgandan so’ng, barcha sohalar kabi ta’lim sohasiga ham katta davlat e’tibori qaratildi. O’zbekiston Respublikasi Prezidenti Islom Karimovning 1997-yil 29-avgustda Oliy Majlis I chaqiriq IX sessiyasida so’zlagan “Barkamol avlod – O’zbekiston taraqqiyotining poydevori” nutqi hamda mazkur sessiyada “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi”ning tasdiqlanishi, yangi tahlildagi “Ta’lim to’g’risida”gi qonuning qabul qilinishi bilan mamlakatimiz ta’lim tizimini yangilashga asos solindi. Ayni paytda mamlakatimiz ta’lim tizimida “Kadrlar tayyorlash milliy dasturi”ning rivojlanish bosqichi davom etmoqda. Ushbu bosqichdagi asosiy vazifa-to’plagan tajribalarni tahlil etish va umumlashtirish asosida mamlakatni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirish istiqbollari muvofiq kadrlar tayyorlash tizimini takomillashtirish va rivojlantirish, ta’lim muassasalarining resurs, kadrlar va axborot bazalarini yanada mustahkamlash, o’quv tarbiya jarayonini yangi o’quv – uslubiy majmualar, ilg’or pedagogik texnologiyalar bilan to’liq ta’minlashdan iboratdir.

Respublikamizda yaratilgan Oliy ta’lim yo’nalishlari bo’yicha o’quv rejalarida “Mustaqil ta’limga” keng ahamiyat berilgan. Mustaqil ta’lim talabalarning o’z ustida ishlashi, dunyoqarashini shakllantirishiga muhim ahamiyat kasb etadi. Talaba mustaqil ta’limi O’zbekiston Respublikasi Oliy va o’rta maxsus ta’lim vazirligining 2005-yil 21-fevraldagi №34 son buyrug’i bilan tasdiqlangan “Talaba mustaqil ishini tashkil etish, nazorat qilish va baholash to’g’risidagi” Nizomi asosida yanada mustahkamlandi.

Talaba mustaqil ishining asosiy maqsadi – fan o’qituvchisi rahbarligida tegishli fanlardan mustaqil ishni ham nazariy ham amaliy bajarish uchun zarur bilim va ko’nikmalarni shakllantirish va rivojlantirishdan iborat. Talabalar mustaqil ishi kerakli ma’lumotlarni izlash, axborot manbasi bo’lgan adabiyotlar, qo’llanmalar, ma’ruzalar va internet tarmog’idan samarali foydalanish, o’qituvchi tomonidan mustaqil o’rganish va bajarish uchun berilgan topshiriqlarni nazariy va amaliy jihatdan o’rganish, tahlil qilish, laboratoriya mashg’ulotlari va natijalarini sonli tahlil qilish, referatlar tayyorlash, ilmiy ish debochalarini yaratish, maketlar yasash, ularni mutaxassislar oldida himoya qilish, natijalarni kerakli shaklda rasmiylashtirish kabi qator vazifalarni bajarishdan iborat.

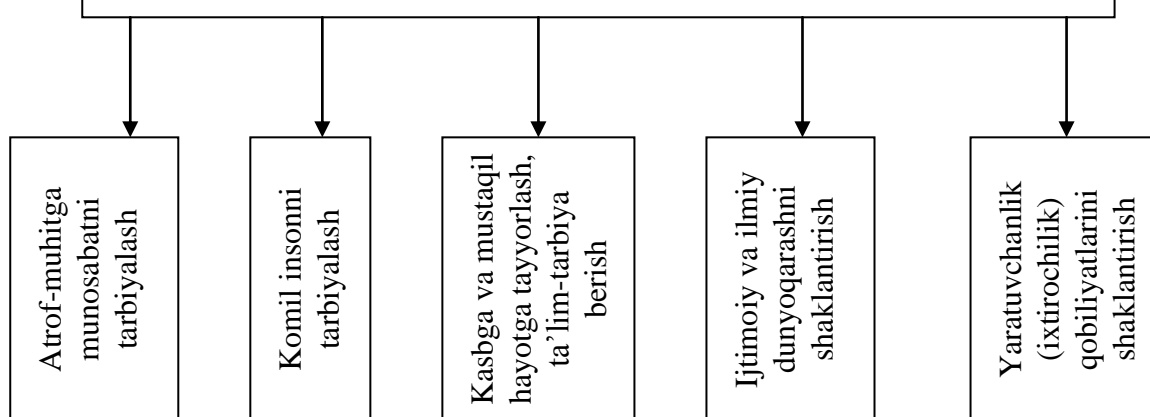
Biz talaba mustaqil ta’limini quyidagicha rejalashtirishni taklif etamiz:



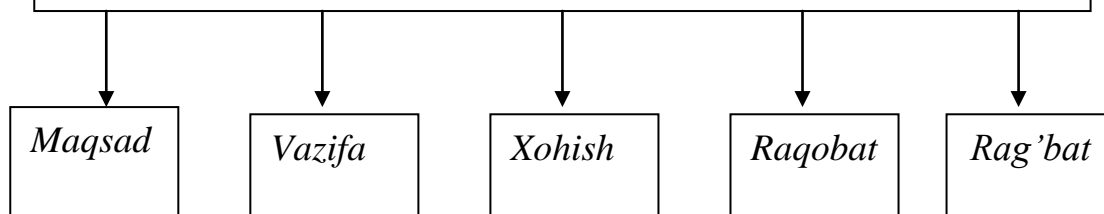


O'quv jarayonini tashkil etishda talabalar bilim darajasi, xohishi va hokazo e'tiborga olinishi zarur. Biz quyida ta'lim jarayonini shakllantirish va ta'lim-tarbiyaga yetaklovchi omillarga e'tibor qaratishni lozim topdik:

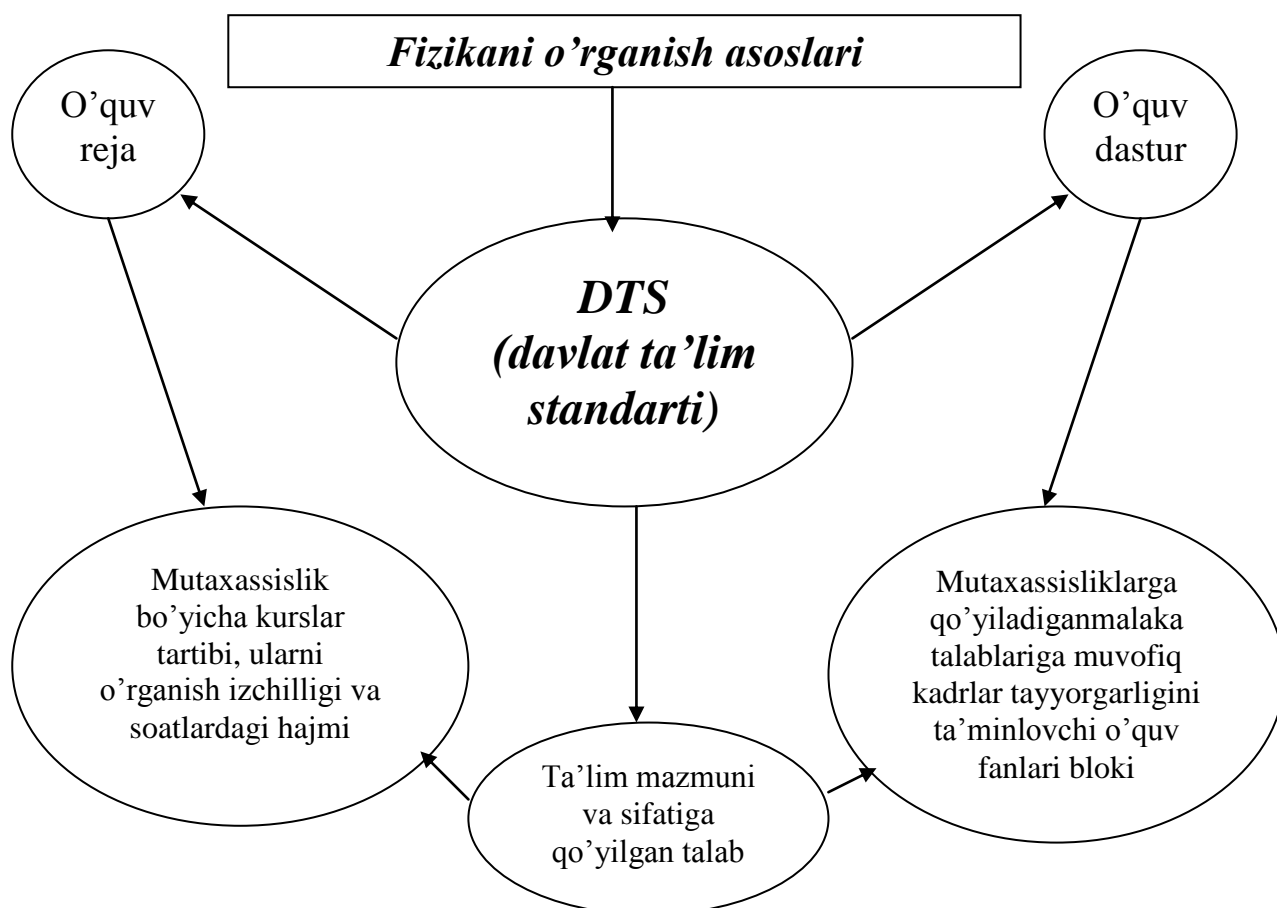
## *Ta'lim-tarbiya jarayonini shakllantirish*



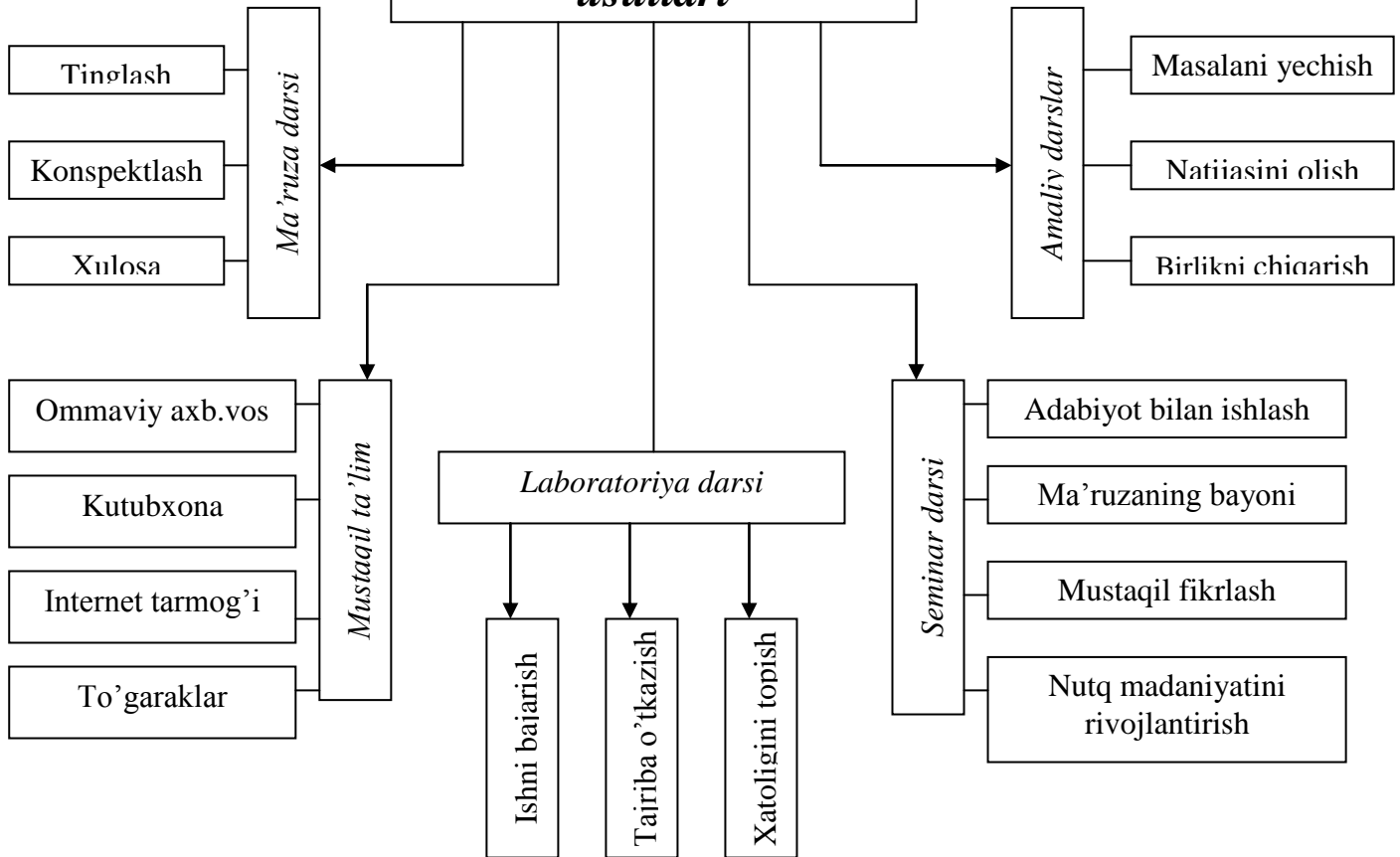
## *Ta'lim-tarbiyaga yetaklovchi asosiy yo'nalishlar*



Talabalar uchun biz quyida “Umumiy fizika” dan umumlashtirilgan va sistemalashtirilgan Mustaqil ta'limni tashkil etishni taklif etamiz:



## *Fizika fanini o'rganish usullari*



Havola etilayotgan bu taklif va tavsiyalar talabalarning mustaqil ta'limni muvaffaqiyatli o'zlashtirishlariga imkon yaratadi, degan umiddamiz.

## TESTLAR

- 1 mm. simob ustuni necha Pa. ga teng?
  - A. 133,3
  - B. 101325
  - C. 98000
  - D. 760
- 1 atmosfera bosimi necha Pa ga teng?
  - A. 101325
  - B. 133,3
  - C. 9800000
  - D. 760
- 1 atmosfera bosimi necha mm. simob ustuniga teng?
  - A. 760
  - B. 98
  - C. 1
  - D.133
- Atmosferaning Yer sirtiga beradigan bosimini kim aniqlagan?
  - A. Torrichelli
  - B. Paskal
  - C. Arximed
  - D. Aristotel
- Suyuqlik yoki gazga berilgan bosim shu suyuqlik yoki gazning barcha nuqtalariga o'zgarishsiz uzatiladi. Bunga ... qonuni deyiladi
  - A. Paskal
  - B. Arximed
  - C. Nyuton
  - D. Galiley
- Molekulyar-kinetik nazariyada qanday gaz o'rganiladi?
  - A. Ideal
  - B. Real
  - C. Ionlashgan
  - D. Suyuq
- Molekulalari o'zaro to'qnashmaydigan gazlar ... gaz deyiladi.
  - A. Ideal
  - B. Real
  - C. Ionlashgan
  - D. Suyuq
- Ideal gazlarning ... energiyasi nolga teng.

A Potensial

B. Kinetik

C. Ichki

D. To'la

9. Molekulyar kinetik nazariyaning nechta qoidasi mavjud?

A. 3 ta

B. 4 ta

C. 2 ta

D. 1 ta

10. O'zida kimyoviy elementning barcha xususiyatlarini saqlagan zarrachaga ... deyiladi.

A. Molekula

B. Atom

C. Proton

D. Neytron

11. Har qanday moddaning 1 molida  $6,023 \cdot 10^{23}$  ta molekula bo'ladi. Bu son qanday nomlanadi?

A. Avogadro

B. Loshmidt

C. Reynolds

D. Faradey.

12. Massasi  $1 \cdot 10^{-5}$  g bo'lgan suv tomchisida qancha molekula bor?

A.  $3,3 \cdot 10^{18}$

B.  $4,3 \cdot 10^{18}$

C.  $2,3 \cdot 10^{18}$

D.  $5,3 \cdot 10^{18}$

13. 450 mol kislorodning massasini aniqlang.

A. 7,2 kg

B. 8,2 kg

C. 9,2 kg

D. 6,7 kg

14. Normal sharoitda 0,5 kg geliyda qancha lomekula bor?

A.  $7,5 \cdot 10^{25}$

B.  $8,5 \cdot 10^{25}$

C.  $7,5 \cdot 10^{25}$

D.  $6,5 \cdot 10^{25}$

15. a) Suv ( $H_2O$ ), b) Ozon ( $O_3$ ), V) Metan ( $CH_4$ ) ning massasini hisoblab toping. Avogadro soni  $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

A.  $3 \cdot 10^{-23}$  8  $\cdot 10^{-23}$  kg 2,7  $\cdot 10^{-25}$

- B.  $4 \cdot 10^{-23}$   $7 \cdot 10^{-23}$  kg  $9,7 \cdot 10^{-25}$   
 C.  $5 \cdot 10^{-23}$   $6 \cdot 10^{-23}$  kg  $7,7 \cdot 10^{-25}$   
 D.  $6 \cdot 10^{-23}$   $6 \cdot 10^{-23}$  kg  $7,7 \cdot 10^{-25}$

16. Kislorodning molyar massasi 0,032 kg/mol ga teng. Kislorod molekulasining massasi qancha?

- A.  $5,3 \cdot 10^{-26}$  kg  
 B.  $6,3 \cdot 10^{-26}$  kg  
 C.  $9,3 \cdot 10^{-26}$  kg  
 D.  $8,3 \cdot 10^{-26}$  kg

17. 16 kg kislorod va 1 g vodorodda qancha molekula bor?

- A.  $3 \cdot 10^{25}$   $3 \cdot 10^{23}$   
 B.  $3 \cdot 10^{25}$   $3 \cdot 10^{23}$   
 C.  $3 \cdot 10^{25}$   $3 \cdot 10^{23}$   
 D.  $4 \cdot 10^{25}$   $3 \cdot 10^{23}$

18. Normal sharoitda karbonat angidrid gazining  $8 \cdot 10^{28}$  ta molekulasi qanday hajmni egallaydi?

- A.  $2,93 \times 10^3$   
 B.  $8,93 \times 10^3$   
 C.  $7,93 \times 10^3$   
 D.  $6,93 \times 10^3$

19. Normal sharoitda 0,7 kg azot oksidi (NO) da qancha molekula bor?

- A.  $1,4 \cdot 10^{25}$   
 B.  $2,4 \cdot 10^{25}$   
 C.  $6,4 \cdot 10^{25}$   
 D.  $3,4 \cdot 10^{25}$

20. Normal sharoitda hajmlari  $1 \text{ m}^3$  dan bo'lgan vodorod va uglerod oksidlaridagi molekular sonining teng bo'lishini isbotlang.

- A.  $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$  bunda  $V_0=22,1 \text{ m}^3$  – istalgan 1 Kmol gazning hajmi  $V=1 \text{ m}^3$   
 B.  $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$  bunda  $V_0=92,1 \text{ m}^3$  – istalgan 1 Kmol gazning hajmi  $V=2 \text{ m}^3$   
 C.  $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$  bunda  $V_0=82,1 \text{ m}^3$  – istalgan 1 Kmol gazning hajmi  $V=3 \text{ m}^3$   
 D.  $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$  bunda  $V_0=67,6 \text{ m}^3$  – istalgan 1 Kmol gazning hajmi  $V=6 \text{ m}^3$

21. Perren tajribalarida Broun zarrasining o'lchami 1 mkm bo'lgan. Bunday zarra diametri  $10^{-6}$  sm bo'lgan suv molekulasidan necha marta katta?

- A. 10000  
 B. 10000000

C. 100

D. 100000000

22. Sig'imi  $200 \text{ sm}^3$  bo'lgan stakanda nechta suv molekulasi bo'ladi?  
Suv molyar massasini  $18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  ga teng deb oling.

A.  $6,7 \cdot 10^{24}$

B.  $7,7 \cdot 10^{24}$ .

C.  $5,7 \cdot 10^{24}$

D.  $47 \cdot 10^{24}$

23. Og'irlik kuchi ta'siri bo'lmaganda zarrachaning suyuqlik yoki gaz ichidagi tartibsiz harakatiga ... harakati deyiladi.

A. Broun

B. Keplercha

C. Xaotik

D. Parabolik

24. Jismning issiqlik darajasini tavsiflovchi fizik kattalikka ... deyiladi.

A. Harorat

B. Qaynash

C. Bug'lanish

D. Ionlanish

25. Gaz massasi va hajmi o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayonlar ... jarayon deyiladi

A. Izoxorik

B. Izobarik

C. Izotermik

D. Adiabatik

26. Gaz massasi va bosimi o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayonlar .... jarayon deyiladi .

A. Izobarik

B. Izotermik

C. Izoxorik

D. Adiabatik.

27. Gaz massasi va harorati o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayonlar ... jarayon deyiladi.

A. Izotermik

B. Adiabatik

C. Izoxorik

D. Izobarik

28. Universal gaz doimiysining qiymati nechaga teng?

A. 8,31

B. 1,38

C. 6,62

D. 4,19

29. Molekulyar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini toping.

A.  $P=2/3nE$

B.  $P=1/3nE$

C.  $P=2nE$

D.  $P=mv/3$

30. Moddadagi barcha molekularlar sonini topish formulasini toping.

A.  $N=m/\mu$

B.  $N=N_A m_0$

C.  $N=N_A m/\mu$

D.  $N=N_A/\mu$

31. Uglerod atomining massasini toping .

A.  $12 \cdot 10^{-23}$

B.  $2 \cdot 10^{-26}$

C.  $2 \cdot 10^{-23}$

D.  $12 \cdot 10^{-26}$

32. Izoxorik jarayonda gazning bosimi 5 marta kamaygan bo'lsa, uning harorati qanchaga o'zgaradi.

A. 5 marta kamayadi

B. 5 marta ortadi

C. O'zgarmaydi

D. 2,5 marta ortadi .

33. Bolsman doimiysining son qiymatini toping.

A.  $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

B.  $k=13,8 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

C.  $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

D.  $k=138 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

34. Mendeleev-Klapeyron tenglamasini toping.

A.  $PV=m/\mu RT$

B.  $PV=RT/\mu$

C.  $PV=\rho RT/\mu$

D.  $P=\nu RT$

35. 1 atomli gazning hajmi 3 marta kamaytirilganda va molekularining o'rtacha kinetik energiyasi 2 marta oshirilganda shu gazning bosimi necha marta o'zgaradi?

A. 6 marta kamayadi

B. 6 marta ortadi



C. 3 marta ortadi

D. 3 marta kamayadi.

36. Silindrda porshen ostidagi 10 litr gazning harorati 323 dan 273 K gacha izobarik sovutiladi. Sovigan gazning hajmi qancha?

A. 8,5

B. 8,9

C. 9

D. 9,5

37. Hajmi 20000 litr bo'lgan xonada havoning harorati 293 dan 273 K gacha pasaygan. Atmosfera bosimi normal, xonadagi havo massasi qanchaga ortgan?

A. 1,7

B. 1,8

C. 1,9

D. 1,6

38. 12<sup>0</sup>S haroratda velosiped shinasidagi havoning bosimi 150000 Pa 42<sup>0</sup>S haroratda bu bosim qanday bo'ladi?

A. 170000

B. 180000

C. 160000

D. 190000

39. Elektr lampochka yonganda undagi gazning harorati 15 dan 300<sup>0</sup> S gacha ortsa, lampochka balonidagi gazning bosimi necha marta ortadi?

A. 2

B. 4

C. 3

D. 7

40. Ballonga  $1,65 \times 10^7$  Pa bosimgacha gaz to'ldirilganda gazning harorati 50<sup>0</sup>S gacha ortgan. Ballonning 20<sup>0</sup>S gacha sovigandan keyingi gazning bosimini toping.

A.  $1,5 \times 10^7$

B.  $5 \times 10^8$

C.  $2,5 \times 10^9$

D.  $3,5 \times 10^7$

41. 100000 Pa bosim ostidagi va harorati 100<sup>0</sup> S bo'lgan kislorod 150000 Pa bosimgacha izoxorik siqilgan. Bu gazning bosimini 100000 Pa gacha pasaytirish uchun uni qanday haroratgacha izoxorik sovitish kerak?

A. -24<sup>0</sup>S

B. -34<sup>0</sup>S

C.  $-25^{\circ}\text{S}$

D.  $-35^{\circ}\text{S}$

42. Havo  $0^{\circ}\text{S}$  harorat va  $100000\text{ Pa}$  bosim ostida 1 litr hajmni egallaydi. Qanday haroratda  $200000\text{ Pa}$  bosim ostida havoning hajmi 2 litr bo'ladi?

A. 820

B. 850

C. 830

D. 720

43. Havodagi chang zarralarining tartibsiz harakati Broun harakati bo'ladimi?

A. Yo'q

B. Ha

C. Bo'lishi mumkin.

D. To'g'ri javob yo'q

44. Agar silindr porsheni chap tomonga  $1/3$  ga  $v$  o'ngga ham shuncha siljitsa, silindrdagi havo bosimi necha marta o'zgaradi (1-rasm)?

A. 1,5 marta ortadi 1,33 marta kamayadi.

B. 2,5 marta ortadi. 2,33 marta kamaaydi.

C. 3,5 marta ortadi. 43,2 marta kamayadi.

D. 8,9 marta ortadi 56,7 marta kamayadi

45. Bosim  $765\text{ mm.sim.ust.}$  ga teng bo'lgandagi hajm  $8,0\text{ l}$  ga teng. Bosim  $735\text{ mm.sim.ust.}$  ga teng bo'lgandagi hajmni toping.

A.  $8,64\text{ l}$

B.  $7,74\text{ l}$

C.  $8,54\text{ l}$

D.  $7,89\text{ l}$

46. Gazning hajmi  $8\text{ l}$  dan  $5\text{ l}$  gacha asta-sekin siqiladi. Bunda uning bosimi dastlabki bosimiga nisbatan  $2,5 \cdot 10^5\text{ Pa}$  ga ortdi. Gazning dastlabki bosimi qanday bo'lgan?

A.  $4,6 \cdot 10^5\text{ Pa}$

B.  $6,6 \cdot 10^5\text{ Pa}$

C.  $5,6 \cdot 10^5\text{ Pa}$

D.  $26 \cdot 10^5\text{ Pa}$

47. Agar porshen silindrning  $1/3$  balandligi qadar surilsa, silindrdagi gazning bosimi qanday o'zgaradi?

A.  $p_2=1,5p$ .

B.  $p_2=2,5p$ .

C.  $p_2=3,5p$ .

D.  $p_2=4,5p$ .

48. Ichida normal bosim ostida 3 l havosi bo'lgan idish sig'imi 2,5 l bo'lgan havosiz bo'sh idish bilan tutashtirildi. Idishlarda qaror topgan havo bosimini toping.

- A.  $1 \cdot 10^4$  Pa
- B.  $3 \cdot 10^3$  Pa
- C.  $1 \cdot 10^2$  Pa
- D.  $4 \cdot 10^2$  Pa

49. 1) Gaz izotermasini  $p(V)$ ;  $p(T)$ ;  $V(T)$  bog'lanish grafiklarida sxematik tasvirlang. 2) Turli haroratlarga tegishli bo'lgan ikkita izoterma bir bog'lanish grafigida o'zaro kesishadimi?

- A. 2) yo'q
- B. 2) ha
- C. 2) bo'lishi mumkin
- D. 2) to'g'ri javob yo'q

50. Qanday bosimda: 1)  $0^\circ\text{S}$  dagi vodorod zichligi normal sharoitdagi neonning zichligiga; 2)  $0^\circ\text{S}$  dagi kislorod zichligi normal sharoitdagi suvning zichligiga teng bo'ladi?

- A.  $1 \cdot 10^6$  Pa;  $7 \cdot 10^7$  Pa
- B.  $1 \cdot 10^3$  Pa;  $7 \cdot 10^8$  Pa
- C.  $4,57 \cdot 10^2$  Pa
- D.  $5,57 \cdot 10^2$  Pa

51. Atmosfera bosimi 735 mm.sim.ust. ga teng bo'lib, havoning normal bosimdagi zichligi  $0,00129 \text{ g/sm}^3$  ga teng bo'lgan,  $4 \times 6 \times 3,5 \text{ m}^3$  hajmdagi uyning ichidagi havoning massasi nimaga teng bo'ladi?

- A. 0,105 kg
- B. 0,205 kg
- C. 0,305 kg
- D. 0,893 kg

52. Hajmi 10 litr bo'lgan idishda kislorod 15 atmosfera bosimi ostida siqilib turibdi. Bu kislorod normal bosimda qancha hajmni egallaydi?

- A. 143,9 l
- B. 153,8 l
- C. 123,4 l
- D. 567,9 l

53. 740 mm.sim.ust. ga teng bo'lgan bosim ostida olingan 10 litr havo 1,5 litr hajmgacha siqiladi. Agar siqish o'zgarmas harakatda olib borilsa, havoning bosimi nimaga teng bo'ladi?

- A.  $6,57 \cdot 10^5$  Pa
- B.  $4,57 \cdot 10^2$  Pa

C.  $5,57 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

D.  $4,67 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

54. 1,2 l hajmdagi silindrik idishda havo 760 mm.sim.ust. da bo'lib, porshen yordamida uning harakatini o'zgartirmasdan 5 atmosferagacha siqiladi. Siqilishdan so'ng havo qanday hajmni egallaydi?

A.  $\approx 17,6 \text{ l}$

B.  $\approx 27,6 \text{ l}$

C.  $\approx 18,6 \text{ l}$

D.  $\approx 16,6 \text{ l}$

55. Hajmi 10 l ballondagi kislorodning bosimi  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Normal sharoitda va normal bosimda idishdagi kislorodning hajmi qanday bo'ladi?

A. 14,39 l

B. 15,67 l

C. 4,39 l

D. 4,56 l

40. Gaz 6 l hajmdan 4 l hajmgacha izotermik siqildi. Bunda gazning bosimi 0,75 atm gacha ortdi. Gazning dastlabki bosimi qancha bo'lgan?

A.  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

B.  $2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

C.  $3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

D.  $5,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

56. Silindr porsheni ostidagi 5 l gaz 323 K dan 273 K gacha izobarik sovutiladi. Sovutilgan gazning hajmi qanday?

A.  $\approx 4,22 \text{ l}$

B.  $\approx 5,22 \text{ l}$

C.  $\approx 3,22 \text{ l}$

D.  $\approx 4,72 \text{ l}$

57. O'txonadan quvurga chiqqan gazlar  $1200^\circ\text{S}$  dan  $200^\circ\text{S}$  gacha soviydi. Ularning hajmi necha marta kamayadi?

A. taqriban 3 marta

B. taqriban 4 marta

C. taqriban 7 marta

D. taqriban 2 marta

58. Harorati  $10^\circ\text{S}$  bo'lgan havoning hajmi 16 l ga teng bo'lib, uning haroratini  $25^\circ\text{S}$  ga orttirsak, havoning hajmi qancha bo'ladi?

A.  $\approx 17,6 \text{ l}$

B.  $\approx 4,22 \text{ l}$

C.  $\approx 4,72 \text{ l}$

D.  $\approx 4,42 \text{ l}$

59. Sig'imi  $250 \text{ m}^3$  bo'lgan ochiq shisha kolbani  $127^\circ\text{S}$  gacha qizdirib, so'ngra uning bo'g'zi og'zi bilan birga suvga bitirildi. Agar kolba  $7^\circ\text{S}$  gacha sovigan bo'lsa, kolbaga necha gramm suv kiradi? Atmosfera bosimi normal. Kolbaning sig'imini o'zgarmaydi, deb hisoblang.

A. 75 g

B. 56 g

C. 98 g

D. 78g

60. Ochiq kolbadagi  $20^\circ\text{S}$  haroratli havoning zichligini 2 marta kamaytirish uchun havoni qanday haroratgacha isitish kerak?

A.  $313^\circ\text{S}$

B.  $513^\circ\text{S}$

C.  $413^\circ\text{S}$

D.  $213^\circ\text{S}$

61. Tashqaridan metropoliten tunneliga ventilyatsion kamera orqali kiradigan havo  $-20^\circ\text{S}$  dan  $+30^\circ\text{S}$  gacha isitiladi. Bunda havo hajmi necha marta o'zgaradi?

A. 1,2 marta

B. 1,3 marta

C. 1,5 marta

D. 2,5 marta

62. Hajmi  $1000 \text{ m}^3$  bo'lgan havo shari  $293 \text{ K}$  haroratli vodorod bilan to'ldirilgan. Agar bosimni o'zgartirmagan holda harorat  $313 \text{ K}$  gacha orttirilsa shardan qancha vodorod chiqib ketadi?

A.  $70 \text{ m}^3$

B.  $80 \text{ m}^3$

C.  $60 \text{ m}^3$

D.  $89 \text{ m}^3$

63. Avtomobil garajdan chiqib ketishi oldida uning g'ildiraklarining shinalariga qishda yozdagiga nisbatan ko'proq bosimda havo bosimi  $24^\circ\text{S}$  haroratda  $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ga teng.  $42^\circ\text{S}$  haroratda undagi bosim qanday bo'ladi?

64. Velosiped shinalaridagi havo bosimi  $24^\circ\text{S}$  haroratda  $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ga teng.  $42^\circ\text{S}$  haroratda undagi bosim qanday bo'ladi?

A.  $3,52 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

B.  $4,52 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

C.  $5,52 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

D.  $6,52 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

65. Agar elektr lampochka yongandan keyin uning ballonidagi gazning harorati  $20^{\circ}\text{S}$  dan  $313^{\circ}\text{S}$  gacha ko'tarilgan bo'lsa, undagi bosim necha marta ortadi?

- A. 2 marta
- B. 3 marta
- C. 4 marta
- D. 1 marta

66. Ballon  $20^{\circ}\text{S}$  gacha sovitilgandan keyingi gaz bosimni toping.

- A.  $2,8 \cdot 10^5$  Pa
- B.  $3,8 \cdot 10^5$  Pa
- C.  $7,8 \cdot 10^5$  Pa
- D.  $1,8 \cdot 10^5$  Pa

67.  $273$  K haroratda kavsharligich lampadagi havo bosimi  $2,5 \cdot 10^5$  Pa ga teng bo'lgan. Agar lampa rezervuari  $327$  K gacha qizigan bo'lsa, unda qanday bosim qaror topgan?

- A.  $\approx 3 \cdot 10^5$  Pa
- B.  $\approx 6 \cdot 10^5$  Pa
- C.  $\approx 9 \cdot 10^5$  Pa
- D.  $\approx 2 \cdot 10^5$  Pa

68. Normal sharoitda havo bilan to'ldirilgan ballon klapan bilan berkitilgan. Klapaning sirti  $40$   $\text{sm}^2$ , og'irligi  $200$  N. Ballondagi havo klapani ochishi uchun uni qanday haroratgacha qizdirish kerak?

- A.  $546$  K
- B.  $675$  K
- C.  $576$  K
- D.  $786$  K

69. Ballonda  $20$  l gaz bor. Uning harakati  $300$  K va bosimi  $1,5$  Mpa ga teng. Gazning hajmini normal sharoitga keltiring.

- A.  $0,273$   $\text{m}^3$
- B.  $0,673$   $\text{m}^3$
- C.  $0,7$   $\text{m}^3$
- D.  $0,8$   $\text{m}^3$

70. Harorat  $253$  K va bosim  $780$  mm.sim.ust. bo'lganda havoning hajmi  $12 \cdot 10^{-3}$   $\text{m}^3$  ga teng. Uning hajmini normal sharoitga keltiring.

- A.  $13$  l
- B.  $14$  l
- C.  $15$  l
- D.  $12$  l

71. Vodorod 288 K harakat va  $1,33 \cdot 10^5$  bosimda  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  hajmni egallaydi. Gazni  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  hajmgacha siqildi va harorati 303 K gacha ko'tarildi. Qanday bosim qaror topdi?

A.  $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

B.  $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

C.  $5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

D.  $4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

72. Harorati  $0^\circ\text{S}$  va bosimi  $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ga teng bo'lgan havo 1 l hajmni egallaydi. Harorati 1093 K bo'lganda  $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosimda uning hajmi qanchaga teng bo'ladi?

A. 2 l

B. 3 l

C. 4 l

D. 5 l

73. Ichki yozuv dvigatelidagi silindrning hajmi  $930 \text{ cm}^3$  ga teng. Chiqarish klapanining ochilishi momentida silindrdagi gazning harorati 1273 K, bosimi 500 KPa ga teng bo'lgan. Silindrdan atmosferaga chiqarib yuborilgan 273 K haroratli va bosimi 100 KPa bo'lgan chiqindi gaz atmosfera havosining haroratigacha soviganda qanday hajmni egallaydi?

A. 1 l

B. 2 l

C. 3 l

D. 8 l

74. Start oldida aerostatdagi gazning hajmi normal sharoitda  $4200 \text{ m}^3$  edi. Atmosfera bosimi 400 mm.sim.ust. harorati 256 K bo'lgan balandlikdagi aerostatning hajmini aniqlang.

A.  $8000 \text{ m}^3$

B.  $2000 \text{ m}^3$

C.  $5000 \text{ m}^3$

D.  $6000 \text{ m}^3$

75. Neftli qatlamga 6,4 MPa bosim  $20^\circ\text{S}$  haroratli havo haydaldi. Agar quduqning chuqurligi 600 m va harorati  $40^\circ\text{S}$  bo'lsa, haydalgan havo neftni yer sirtiga siqib chiqara oladimi?

A. ha

B. yo'q

C. bo'lishi mumkin.

D. faqat yer qatlamiga chiqishi mumkin.

76. Bosim 0,5 MPa va harorati 323 K bo'lganda 1 kmol gaz qanday hajmni egallaydi?

A.  $5,4 \text{ m}^3$

B.  $6,4 \text{ m}^3$

C.  $3,4 \text{ m}^3$

D.  $8,4 \text{ m}^3$

77.  $482 \text{ K}$  haroratda va  $9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosim ostida  $18 \text{ l}$  karbonat angidrid gazi bor. Gazning massasini toping.

A.  $0,2 \text{ kg}$

B.  $0,3 \text{ kg}$

C.  $0,4 \text{ kg}$

D.  $0,5 \text{ kg}$

78. Sig'imi  $1000 \text{ sm}^3$  bo'lgan idishda  $290 \text{ K}$  haroratli  $1,78 \text{ g}$  vodorod bor. Gazning bosimini toping.

A.  $2,4 \text{ MPa}$

B.  $3,4 \text{ MPa}$

C.  $4,5 \text{ MPa}$

D.  $6,7 \text{ MPa}$

79.  $77^\circ\text{S}$  haroratda  $1 \text{ l}$  havo qancha massaga ega bo'ladi? bosimini normal deb hisoblang.

A.  $1 \text{ g}$

B.  $2 \text{ g}$

C.  $3 \text{ g}$

D.  $5 \text{ g}$

80. Massasi  $120 \text{ kg}$  bo'lgan vodorod  $1400 \text{ m}^3$  havo sharining hajmini to'ldirib turibdi  $7^\circ\text{S}$  haroratda vodorod bosimini aniqlang.

A.  $9,6 \times 10^4 \text{ Pa}$

B.  $5,6 \times 10^4 \text{ Pa}$

C.  $8,6 \times 10^4 \text{ Pa}$

D.  $4,6 \times 10^4 \text{ Pa}$

81. Harorati  $270 \text{ K}$  bo'lgan ballonda  $2 \text{ kg}$  gaz bor. Gazni  $300 \text{ K}$  gacha isitilganda bosim avvalgidek qolishi uchun ballondan qancha miqdor gaz (massa bo'yicha) chiqarib yuborish kerak?

A.  $0,2 \text{ kg}$

B.  $0,3 \text{ kg}$

C.  $0,4 \text{ kg}$

D.  $0,5 \text{ kg}$

82. Idishdagi gaz  $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bosim ostida turibdi. Uning harorati  $400 \text{ K}$ . Gaz massasining yarmi idishdan chiqarib yuborilib, harorati  $323 \text{ K}$  gacha pasaytirilgandan keyingi gaz bosimini aniqlang.

A.  $8,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$



B.  $7,8 \cdot 10^4$  Pa

C.  $6,8 \cdot 10^4$  Pa

D.  $5,8 \cdot 10^4$  Pa

83. Vodorod va kislorodning normal sharoitdagi zichligini hisoblang. Hisoblash natijalarini jadval ma'lumotlari bilan taqqoslang.

A.  $0,09 \text{ kg/m}^3$

B.  $0,08 \text{ kg/m}^3$

C.  $0,07 \text{ kg/m}^3$

D.  $0,06 \text{ kg/m}^3$

84. Harorati 400 K bo'lgan va  $8,31 \cdot 10^5$  Pa bosim ostidagi geliyning zichligi qanday?

A.  $1 \text{ kg/m}^3$

B.  $2 \text{ kg/m}^3$

C.  $3 \text{ kg/m}^3$

D.  $4 \text{ kg/m}^3$

85. Havoning 373 K haroratdagi zichligi  $3,8 \text{ kg/m}^3$ , uning shu haroratdagi basimi qancha bo'ladi?

A.  $4,03 \cdot 10^5$  Pa

B.  $5,03 \cdot 10^5$  Pa

C.  $603 \cdot 10^5$  Pa

D.  $203 \cdot 10^5$  Pa

86. Havoning zichligi normal holatdagi zichligiga teng bo'lishi uchun uni  $1,37 \cdot 10^5$  Pa bosimda saqildi. Siqish jarayonida havonig harorati qancha bo'lgan? Havoning zichligini  $1,3 \text{ kg/m}^3$  deb hisoblang .

A. 363 K

B. 456 K

C. 678 K

D. 567 K

87. 64 g kislorod sig'mi 40 l bo'lgan ballonda  $2,13 \cdot 10^5$  Pa bosimda saqlanadi. Agar kislorodning molyar massasi  $32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  deb olinsa, uning harorati qanday bo'ladi?

A. 513 K

B. 658 K

C. 163 K

D. 675 K

88. Gaz holatidagi biror moddaning  $10^0$ S harorat va normal atmosfera bosimi sharoitidagi zichligi  $2,5 \text{ kg/m}^3$ . Bu moddaning molyar massasini toping.

A.  $0,06 \text{ kg/mol}$

B. 0,04 kg/mol

C. 0,07 kg/mol

D. 0,02 kg/mol

89. Gaz 1,6 l hajmdan 2,5 l hajmgacha kengayganda 180 J ish bajaradi .  
Gaz qanday bosimda shu ishni bajargan?

A.  $2 \cdot 10^6$  Pa

B.  $3 \cdot 10^6$  Pa

C.  $6 \cdot 10^6$  Pa

D.  $4 \cdot 10^6$  Pa

90. Silindrdagi gazning o'rtach bosimi 0,6 MPa. Porshening yuzi 300  $\text{sm}^2$ , yurish yo'li 50 sm. Porshening bir yurishdagi gaz bajargan ishni aniqlang.

A. 900 J

B. 800 J

C. 567 J

D. 675 J

91. Gaz silindr porsheni tagida  $10^0\text{S}$  harorat va 0,2 MPa bosim turibdi. Agar gazning harorati  $30^0\text{S}$  ko'rarilsa, bir litr izobarik kengayganda qanday ish bajaradi?

A. 208 J

B. 789 J

C. 678 J

D. 478 J

92.  $P=2 \cdot 10^5$  Pa bosim ostida turgan gaz izobarik ravishda kengayib, 50 J ish bajaradi. Bu gazning hajmi qanchaga ortadi?

A.  $0,9,25 \times 10^{-3}$

B.  $0,8,5 \times 10^{-3}$

C.  $0,9 \times 10^{-3}$

D.  $0,1 \times 10^{-3}$

93. Havo  $8 \cdot 10^5$  Pa bosim ostida 4 litrdan 12 litrgacha izotermik ravishda kengayadi. Havoning kengayishida bajargan ishini aniqlang.

A. 6,4 kJ

B. 7,6 kJ

C. 8,9 kJ

D. 5,4 kJ

94. 1 MPa bosimda 2 l hajmni egallagan gaz 4 l hajmgacha kengaygandi. Shundan keyin gazning bosimi ikki marta kamaytirildi va gaz o'zgarmas bosimda 8 l hajmgacha kengaydi p(V) bog'lanish grafiginin chizing va ikkala jarayondan qaysi birida gaz ko'proq ish bajarganligini aniqlang.

- A. izotermik jarayonda ko'proq ish bajaradi.  
 B. izotermik jarayonda kamroq ish bajaradi.  
 C. izotermik jarayonda umuman ish bajarmaydi.  
 D. izobarik jarayonda ish bajaradi.
95. 1) 4 kg kerosin va 4 kg benzin, 2) 4 l benzin va 4 l kerosin to'la yonganda birday issiqlik miqdori ajraladimi?  
 A. 1) Ha 2) yo'q.  
 B. 1) yo'q 2) ha  
 C. 1) yo'q 2) yo'q.  
 D. 1) ha 2) ha
96. Nima yaxshi grelka bo'ladi: qumli xaltami, suv quyilgan shisha butulkami (massalari va haroratlari birday)?  
 A. suv qo'yilgan shisha butilka yaxshi grelka bo'la oladi.  
 B. suv qo'yilgan shisha butilka yaxshi grelka bo'la olamaydi.  
 C. suv qo'yilgan shisha butilka yaxshi grelka bo'la olishi mumkin.  
 D. grelka yo'q
97. Yuqori haroratgacha qizdirilgan metall detallar suvda, moyda va havoda sovutiladi. sovish qaysi muhitda tezroq boradiyu, qaysi muhitda sekinroq boradi? nima uchun  
 A. solishtirma issiqlik sig'indan foydalaning suvda tezroq havoda kamroq.  
 B. solishtirma issiqlik sig'indan foydalaning suvda havoda kamroq.  
 C. solishtirma issiqlik sig'indan foydalaning suvda kamroq havoda tezroq  
 D. solishtirma issiqlik sig'indan foydalanmaymiz
98. 200 g qo'rg'oshinni  $20^{\circ}\text{S}$  da  $70^{\circ}\text{S}$  gacha qizdirish uchun qancha isiqlik miqdori kerak? Qo'rg'oshinning solishtirma issiqlik sig'imi  $130 \text{ J/kg}^{\circ}\text{S}$  ga teng.  
 A. 1300 J  
 B. 1420 J  
 C. 1700 J  
 D. 1200 J
99. Agar ko'p qavatli uyning isitish sestemasiga bir sutka davomida  $90^{\circ}\text{S}$  haroratli  $800 \text{ m}^3$  suv kelib tushsa va undan chiqib ketayotganda uning harorati  $50^{\circ}\text{S}$  ga teng bo'lsa uyni isitishga sarflanadigan issiqlik miqdorini aniqlang.  
 A. 134,4 GJ  
 B. 144,4 GJ  
 C. 154,4 GJ  
 D. 124,4 GJ

100. Agar 2 kg po'latni  $2800^{\circ}\text{S}$  qizdirish uchun 1,6 kg shartli yonilg'i sarflansa temirchilik uchog'ining issiqlikka bardosh berish qobiliyati nimaga teng b'ladi.

- A. 5,3%
- B. 5,6%
- C. 4,5%
- D. 7,6%

101. Qozondagi 1500 l suvni isitish uchun 40kg toshko'mir yoqildi. Agar suvning boshlang'ich harorati  $20^{\circ}\text{S}$  va yoqilg'ining issiqlik berish qobiliyati 60% ga teng bo'lsa, suv qanday haroratgacha isigan.

- A.  $\approx 134^{\circ}\text{S}$
- B.  $\approx 154^{\circ}\text{S}$
- C.  $\approx 144^{\circ}\text{S}$
- D.  $\approx 164^{\circ}\text{S}$

102.  $20^{\circ}\text{S}$  li haroratli 0,40 kg suv  $70^{\circ}\text{S}$  li haroratli 0,1 kg suv bilan aralashtirildi. Issiqlik muvozanatida aralashmaning harorati qanday bo'ladi?

- A.  $30^{\circ}\text{S}$
- B.  $50^{\circ}\text{S}$
- C.  $80^{\circ}\text{S}$
- D.  $60^{\circ}\text{S}$

103. Avtomobilning radiatorga  $20^{\circ}\text{S}$  haroratli 2 kg suv qo'yildi, so'ngra unga yana  $65^{\circ}\text{S}$  haroratli 4 kg suv qo'shildi. Aralashmaning issiqlik muvozanatidagi haroratini aniqlang.

- A.  $50^{\circ}\text{S}$
- B.  $60^{\circ}\text{S}$
- C.  $70^{\circ}\text{S}$
- D.  $55^{\circ}\text{S}$

104. Vannaga  $20^{\circ}\text{S}$  haroratli 80 kg suv qo'yilgan. Unga yana  $100^{\circ}\text{C}$  haroratli suv qo'shildi. Hosil bo'lgan aralashmaning harorati  $35^{\circ}\text{C}$  ga teng bo'lishi uchun qushiladigan suvning miqdori qanday bo'lishi lozim?

- A. 12 kg
- B. 31 kg
- C. 14 kg
- D. 13 kg

105. Jez kalorometrda  $17^{\circ}\text{S}$  haroratli 400 g suv qo'yildi va unga  $85^{\circ}\text{C}$  haroratli 600 g kumush tushirildi. Kumushning solishtirma issiqlik sig'imini aniqlang.

- A.  $700 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

- B.  $600 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- C.  $400 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- D.  $500 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

106. Massalari 4 kg dan bo'lgan aliyuminiy va qo'rg'ashinni  $40^\circ\text{C}$  haroratga ko'tarish uchun qancha issiqlik miqdori kerak? Issiqlik miqdorlarini taqqoslang va jadvaldan foydalaning.

- A. 140,8 kJ
- B. 143,8 kJ
- C. 144,8 kJ
- D. 146,8 kJ

107. Uyni isitishda nima uchun suvdan foydalaniladi.

- A. 1 kg suvni  $1^\circ\text{S}$  isitish uchun 4200 J issiqlik miqdori kerak
- B. 1 kg suvni  $1^\circ\text{S}$  isitish uchun 5200 J issiqlik miqdori kerak
- C. 1 kg suvni  $1^\circ\text{S}$  isitish uchun 6200 J issiqlik miqdori kerak
- D. 1 kg suvni  $1^\circ\text{S}$  isitish uchun 3200 J issiqlik miqdori kerak

108. Jismga issiqlik miqdori bermasdan uning haroratini ko'tarish mumkinmi?

- A. ha
- B. yo'q
- C. bo'lishi mumkin.
- D. to'g'ri javob yo'q

109. Tegirmondan chiqqan un, shuningdek tandirdan yangi uzib olingan non issiq bo'ladi. Birinchi va ikkinchi hollarda jism haroratini ko'tarilishiga sabab nima?

A. tegirmondan chiqqan un bug'doy yanchilishi natijasida qiziydi tandirdan olingan non olovdan issiqlik oladi shuning uchun ham har ikkala holatda ham harorat ko'tariladi.

B. tegirmondan chiqqan un bug'doy yanchilishi natijasida qiziydi tandirdan olingan non olovdan issiqlik oladi shuning uchun ham har ikkala holatda ham harorat ko'tarilmaydi.

C. tegirmondan chiqqan un bug'doy yanchilishi natijasida qiziydi tandirdan olingan non olovdan issiqlik oladi shuning uchun ham har ikkala holatda ham harorat ko'tarilishi mumkin.

D to'g'ri javob yo'q

110. Sim spirt lampa alangasida yoki ko'p marta bukib to'g'rlash natijasida qizishi mumkin. Sim ikkala holda ham biror issiqlik miqdori oladi, deb gapirish to'g'ri bo'ladimi?

- A. 1- to'g'ri 2- noto'g'ri.
- B. 1- to'g'ri 2- to'g'ri.

C. 1- noto'g'ri 2- to'g'ri.

D. to'g'ri javob yo'q

111. Bir bog'lam o'tinni ikkinchi qavatga olib chiqib pechda yoqildi. Bunda o'tinning potensial energiyasi yo'qoladimi?

A. yonish mahsulotiga sarf bo'ladi.

B. yonish mahsulotiga sarf bo'lmaydi

C. yonish mahsuloti hosil bo'ladi

D. to'g'ri javob yo'q

112. Qizigan pech hech qanday ish bajarmagan holda asta sekin soviydi. Bu energiyaning saqlanish va aylanish qonni bilan qanday tushuntirish mumkin.

A. pechka qancha issiqlik miqdori olgan bo'lsa sovish jarayonida ham shuncha issiqlik miqdori chiqaradi

B. pechka qancha issiqlik miqdori chiqargan bo'lsa sovish jarayonida ham shuncha issiqlik miqdori oladi

C. pechka qancha issiqlik miqdori olgan bo'lsa sovish jarayonida ham shuncha issiqlik miqdori chiqara omaydi

D to'g'ri javob yo'q

113. 7-a,b,v rasmda gaz holatidagi turli o'zgarishlarni namoyish qiluvchi tajribalartasvirlangan har qaysi jarayonning nomini aytib bering . Hamma jarayonda ham gazning ichki energiyasi o'zgaradimi? Gazning harorati o'zgatadimi? gaz ish bajaradimi? har bir jarayon uchun termodinamikani 1- qonunini yozing.

A. izoxorik, izobarik izotermik yoki adiabatik

B. izobarik, izoxorik izotermik yoki adiabatik

C. izoxorik, izobarik izobarmik yoki adiabatik

D. izotermik, izobarik izoxorik yoki adiabatik

114. Kompessorning silindrida bir atomli 8 mol ideal gaz siqilmoqda. Agar porshenning bir yurishida 500 J ish bajarilgan bo'lsa u holda gaz harorati qanchaga ko'tarilgan? Bu jarayonni adiabatik jarayon deb hisoblang.

A. 15 K

B. 16 K

C. 13 K

D. 14 K

115. Siqilgan gazni ballondan chiqarish vaqtida ventil nima uchun shudring yoki qirov bilan qoplanadi

A. bug'lanish vaqtida haroratini pasayishi natijasida qirov bilan qoplanadi.

B. bug'lanish vaqtida haroratini ko'tarilishi natijasida qirov bilan qoplanadi.

C. Bug'lanish vaqtida harorat pasaytirilsa bug'lanib ketadi.

D. Bug'lanish vaqtida harorat pasayib qirov yo'qoladi.

116. Ichki yonuv dvigatelidagi to'rt taktdan qaysilarini adiabatli jarayon deb hisoblash mumkin

A. to'rtala takt adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 3- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

B. to'rtala takt adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 4- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

C. to'rtala takt adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 1- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

D. to'rtala takt adiabatik jarayon deb hisoblanadi 1- va 3- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

117. Shamolning termometr ko'rsatishiga ta'sir ko'rsatilmasligi ma'lum shunday bo'lsa nima uchun voleybol to'pi kamerasidan chiqayotgan havo jarayonga qo'yilgan termometrning simob sathi pasayadi bu hodisani tekshirib ko'ring va tushuntirib bering

A. Havo kamardan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi pasayadi shamol termometrning ko'rsatishiga ta'sir qilmaydi.

B. Havo kamardan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi pasayadi shamol termometrning ko'rsatishiga ta'sir qiladi.

C. Havo kamardan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi ko'tariladi shamol termometrning ko'rsatishiga ta'sir qilamoydi.

D. Havo kamardan chiqayotgan adiabatik kamayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi pasayadi shamol termometrning ko'rsatishiga ta'sir qilamoydi.

118. 8-rasmda grafik tasvirlangan. Bu grafikdagi egri chiziqlarda qanday jarayonlar tasvirlangan?

A. izoterma va adiabat

B. izoxora va adiabat

C. izobara va adiabat

D. izobara va izoterma

119. Adiabatik jarayon qaysi idishlarda amalga oshadi: shisha kolbadani? Kalorimetrdami? Dyuar idishdami?

A. kolbada adiabatik jarayon amalga oshmaydi

- B. kolbada adiabatik jarayon amalga oshadi
- C. kolbada adiabatik jarayon amalga oshishi mumkin
- D. to'g'ri javob yo'q

120. Berk idishdagi  $1,3 \cdot 10^{-3}$  kg havo  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$  gacha sekin isiydi. Havoning ichki energiyasi o'zgaradimi agar o'zgarsa necha marta o'zgaradi? Bosim o'zgarmas bo'lganda havoning issiqlik sig'imi  $700 \text{ k/J}$  ga teng. Qaralayotgan jarayon adiabatik jarayon hisoblanadimi. Nima uchun?

- A.  $0,9 \text{ J}$  ga ortadi yo'q.
- B.  $0,8 \text{ J}$  ga ortadi yo'q.
- C.  $0,7 \text{ J}$  ga ortadi yo'q.
- D.  $0,6 \text{ J}$  ga ortadi yo'q.

121. Ideal issiqlik dvigateli har sekundda isitkichdan  $7,2 \cdot 10^6 \text{ J}$  issiqlik miqdori oladi va sovitkichga  $J$  issiqlik miqdori beradi. Dvigatelning FIK qanday?

- A.  $\approx 11\%$
- B.  $\approx 21\%$
- C.  $\approx 31\%$
- D.  $\approx 41\%$

122. Agar bug' trubinaga kelib tushayotganda harorati  $480^{\circ}\text{S}$  bo'lsa undan  $30^{\circ}\text{S}$  harorat bilan chiqib ketsa ideal bug' trubinaning FIK qanday?

- A.  $\approx 60\%$
- B.  $\approx 70\%$
- C.  $\approx 51\%$
- D.  $\approx 81\%$

123. Bug' mashina slindriga bug' har sekundda  $180 \text{ MJ}$  issiqlik olib kiradi. Ishlatilgan bug' shu vaqtni o'zida  $160 \text{ MJ}$  issiqlikni silindrdan olib chiqib ketadi. Bug' mashinasining FIK ini toping.

- A.  $30 \text{ MJ}$
- B.  $40 \text{ MJ}$
- C.  $50 \text{ MJ}$
- D.  $23 \text{ MJ}$

124. Ideal issiqlik dvigatelida isitkichning absolyut harorati sovitkichning haroratidan uch marta katta. Isitkich gazga  $40 \text{ kJ}$  issiqlik idori uzatadi. gaz qanday ish bajardi?

- A.  $26,4 \text{ kJ}$
- B.  $45,9 \text{ kJ}$
- C.  $27,4 \text{ kJ}$
- D.  $23,7 \text{ kJ}$



125. To'pdan otganda 100 kg porox yonadi. Snaryadning massasi 250 kg boshlang'ich tezligi esa 400 m/s agar poroxning yonish issiqligi 1,6 MJ/kg bo'lsa, to'pning F.I.K. ini aniqlang.

A.  $\approx 12,5\%$

B.  $\approx 11\%$

C.  $\approx 11,5\%$

D.  $\approx 12,4\%$

126. Ideal gaz izotermik kengayganda 20 J ish bajardi. Gaz qancha issiqlik miqdori olgan?

A. izotermik jarayonda harorat o'zgarmaydi shuning uchun gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi

B. adiabatik jarayonda harorat o'zgarmaydi shuning uchun gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi

C. izoxormik jarayonda harorat o'zgarmaydi shuning uchun gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi

D. izobarmik jarayonda harorat o'zgarmaydi shuning uchun gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi

127. Gazning silindrdagi o'rtacha bosimi  $12 \cdot 10^5$  Pa Porshenning yuzi  $300 \text{ cm}^2$  va yurish yo'li 0,5 m porshenning bir yurishida gazning ichki energiyasi qancha kamayadi. Jarayonning adiabatik deb hisoblansin.

A. 18 kJ

B. 20 kJ

C. 21 kJ

D. 19 kJ

128. Agar 1000 Vt quvvatli dvigatel soatiga 216 g dizel yoqilg'isi sarflasa, traktor dvigatelining F.I.K. ini aniqlang.

A. 40 %

B. 30 %

C. 50 %

D. 60 %

129. Avtomobil dvigatelining quvvati 75 kVt. Agar dvigatelning F.I.K. 35% gacha bo'lsa, 1 soatdagi benzin sarfini aniqlang.

A. 11 l/soat

B. 13 l/soat

C. 17 l/soat

D. 21 l/soat

130. Avtomobillar shaharlar havosini ifloslantiruvchi asosiy manbalardir. Shu munosabat bilan benzin emas, balki suvdan foydalanuvchi shunday

avtomobillar paydo bo'ldiki ular o'zlari suvdan yoqilg'i sifatida vodorod ishlab chiqaradilar. "Vodorod yoqilg'i" ning ijobiy tomonlarini ko'rsating.

A. vodorod yonilg'i muhitni ifloslantirmaydi; uning yonish issiqligi katta, yonilg'ining solishtirma yonish issiqligi jadvaliga qarang

B. vodorod yonilg'i muhitni ifloslantiradi; uning yonish issiqligi katta, yonilg'ining solishtirma yonish issiqligi jadvaliga qarang

C. vodorod yonilg'i muhitni ifloslantirmaydi; uning yonish issiqligi kichik, yonilg'ining solishtirma yonish issiqligi jadvaliga qarang

D. vodorod yonilg'i muhitni ifloslantiradi; uning yonish issiqligi juda kichik, yonilg'ining solishtirma yonish issiqligi jadvaliga qarang

131. Atmosferaning qaysi qatlamidagi havo ideal gazga yaqin turadi: bevosita yer sirti yaqinidagi havomi yoki balandliklardagi havomi?

A. katta balandliklardagi havo

B. yer sirti yaqinidagi havo

C. har ikkalasida bir xil

D. to'g'ri javob berilmagan

132. Atmosfera bosimini havoning og'irligi hosil qiladi. Agar kosmonavtlar kabinasidagi havo vaznsiz bo'lsa, u yerda normal bosim qanday saqlab turiladi?

A. bosim havo molekulalarining kinetik energiyasi hisobiga hosil bo'ladi

B. bosim havo molekulalarining to'la energiyasi hisobiga hosil bo'ladi

C. bosim havo molekulalarining og'irligi hisobiga hosil bo'ladi

D. bosim havo molekulalarining ichki energiyasi hisobiga hosil bo'ladi

133. Azot molekulasidagi idish devoriga perpendikulyar yo'nalishda 500 m/s tezlik bilan uchib bormoqda, u shu devorga uriladi va tezligni yo'qotmagan holda undan elastik qaytadi. Molekulaning urilgunga qadar bo'lgan harakat miqdorini va devorning urilish vaqtida olgan impulsini aniqlang.

A.  $2,35 \cdot 10^{-23}$  kg·m/s;  $4,7 \cdot 10^{-23}$  N·s

B.  $2,34 \cdot 10^{-23}$  kg·m/s;  $3,7 \cdot 10^{-23}$  N·s

C.  $3,35 \cdot 10^{-23}$  kg·m/s;  $5,3 \cdot 10^{-23}$  N·s

D.  $4,23 \cdot 10^{-23}$  kg·m/s;  $6,7 \cdot 10^{-23}$  N·s

134. 600 m/s tezlik bilan uchib borayotgan argon molekulasidagi idish devoriga elastik uriladi. Tezlikning yo'nalishi idish devoriga o'tkazilgan normal bilan  $60^\circ$  burchak hosil qiladi. Devorning urilish vaqtida olgan impulsini aniqlang.

A.  $\approx 8 \cdot 10^{-23}$  N·s

B.  $\approx 7 \cdot 10^{-23}$  N·s

C.  $\approx 6 \cdot 10^{-23}$  N·s

D.  $\approx 9 \cdot 10^{-23} \text{ N}\cdot\text{s}$

135. Normal sharoitda kislorod molekulasini xaotik harakatining o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s, molekulasining massasi  $6,0 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ . Molekula ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasini qanday?

A.  $7,5 \cdot 10^{-21} \text{ J}$

B.  $6,5 \cdot 10^{-21} \text{ J}$

C.  $9,5 \cdot 10^{-21} \text{ J}$

D.  $2,5 \cdot 10^{-21} \text{ J}$

136. Agar kislorod molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 460 m/s va  $2 \text{ m}^3$  dagi molekular soni  $3 \cdot 10^{19}$  bo'lsa, kislorod idish devorlariga qanday bosim ko'rsatadi?

A.  $\approx 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

B.  $\approx 1 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

C.  $\approx 1 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

D.  $\approx 1 \cdot 10^7 \text{ Pa}$

137. Vodorod va kislorod molekularining o'rtacha kvadratik tezliklari mos ravishda 1840 m/s va 460 m/s, bu molekularning o'rtacha kinetik energiyalarini taqqoslang.

A.  $5,3 \cdot 10^{-21}$

B.  $5,3 \cdot 10^{-23}$

C.  $5,3 \cdot 10^{-28}$

D.  $5,3 \cdot 10^{-20}$

138. Agar vodorod gazining bosimi 228 mm.sim.ustuni uning molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/s bo'lsa,  $1 \text{ m}^3$  hajmdagi vodorod molekularini aniqlang,

A.  $\approx 4,5 \cdot 10^{24}$

B.  $\approx 4,5 \cdot 10^{28}$

C.  $\approx 4,5 \cdot 10^{26}$

D.  $\approx 4,5 \cdot 10^{21}$

139. Havo kislorod va azot molekularidan tashkil topgan berilgan haroratda bu gaz molekularining ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi birday bo'ladimi?

A. ha

B. yo'q

C. molekularning haroratiga bog'liq

D. qaysi gaz ekanligiga bog'liq

140. Atmosferada bir necha yuz kilometr balandliklarda havoning harorati  $1000^\circ\text{S}$  atrofida bo'ladi. Nima uchun u yerda raketalar yonib ketmaydi?

- A. ayrim havo molekularining kinetik energiyasi  $1000^{\circ}\text{S}$  dan ortiq haroratga mos keladi, biroq molekular konsentratsiyasi kichik
- B. ayrim havo molekularining kinetik energiyasi  $1000^{\circ}\text{S}$  dan ortiq haroratga mos keladi, biroq molekular konsentratsiyasi katta
- C. ayrim havo molekularining kinetik energiyasi  $1000^{\circ}\text{S}$  dan ortiq haroratga mos kelmaydi, biroq molekular konsentratsiyasi kichik
- D. ayrim havo molekularining kinetik energiyasi  $1000^{\circ}\text{S}$  dan ortiq haroratga mos kelmaydi, biroq molekular konsentratsiyasi katta

141. Agar gaz molekularining ilgari lanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi  $2,76 \cdot 10^{-10}$  J bo'lsa, gazning haroratini aniqlang.

- A. 1300 K
- B. 2300 K
- C. 1800 K
- D. 1400 K

142. Geliy va argon molekularining 800 K haroratidagi ilgari lanma harakat o'rtacha kinetik energiyasini aniqlang.

- A.  $\approx 2,6 \cdot 10^{-20}$  J
- B.  $\approx 2,6 \cdot 10^{-23}$  J
- C.  $\approx 2,6 \cdot 10^{-18}$  J
- D.  $\approx 2,6 \cdot 10^{-26}$  J

142. Gaz molekularining  $527^{\circ}\text{S}$  haroratidagi ilgari lanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi qanday bo'ladi?

- A.  $1,656 \cdot 10^{-20}$  J
- B.  $1,656 \cdot 10^{-26}$  J
- C.  $1,656 \cdot 10^{-23}$  J
- D.  $1,656 \cdot 10^{-21}$  J

143.  $P = nkT$  formulaning o'ng tomoni bosimi birliklarida o'lchanishini isbotlang.

- A. 1 Pa
- B. 1 Vt
- C. 1 A
- D. 1 N

144. Xonada pechka yoqildi. Xonaning harorati ko'tarilgan bo'lsada, undagi havoning ichki energiyasi nima uchun ortmaydi?

- A.  $p = \frac{2}{3}nE$  bo'lganligi uchun xonadagi havoning umumiy ichki energiyasi o'zgarmaydi
- B.  $p = nkT$  bo'lganligi uchun xonadagi havoning umumiy ichki energiyasi o'zgarmaydi

C.  $P = \text{const}$  bo'lganligi uchun xonadagi havoning umumiy ichki energiyasi o'zgarmaydi

D.  $p = \frac{2}{3}kT$  bo'lganligi uchun xonadagi havoning umumiy ichki energiyasi o'zgarmaydi

145. Agar gazning har bir kub santimetrida  $1,0 \cdot 10^8$  ta molekula bo'lsa va harorati  $87^\circ\text{S}$  gacha bo'lsa, uning bosimi qanday?

A.  $5 \cdot 10^{-7}$  Pa

B.  $25 \cdot 10^{-7}$  Pa

C.  $7 \cdot 10^{-7}$  Pa

D.  $13 \cdot 10^{-7}$  Pa

146. Harorati  $37^\circ\text{S}$  bo'lganda, bosim  $1,2 \cdot 10^5$  Pa teng bo'lishi uchun birlik hajmga qancha gaz molekulasini to'g'ri kelishi kerak?

A.  $\approx 3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

B.  $\approx 7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

C.  $\approx 2 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

D.  $\approx 11 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

147. Normal sharoitda gazning  $9 \text{ m}^3$  hajmida qancha molekula bo'lishi aniqlang.

A.  $\approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

B.  $\approx 1,1 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

C.  $\approx 3,1 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

D.  $\approx 2,3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

148. Hajmi  $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  bo'lgan idishda  $27^\circ\text{S}$  harorat va 25 kPa bosimda qancha gaz molekulasini bor?

A.  $\approx 3 \cdot 10^{21}$

B.  $\approx 6 \cdot 10^{21}$

C.  $\approx 8 \cdot 10^{21}$

D.  $\approx 7 \cdot 10^{21}$

149.  $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$  formulaning o'ng tomoni tezlik birliklarida o'lchanishini isbotlang.

A. m/s

B. N·s

C.  $\text{m/s}^2$

D. s/m

150. Kislorod molekularining 293 K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligini aniqlang. Qanday haroratda bu tezlik 500 m/s ga teng bo'ladi?

A.  $\approx 480 \text{ m/s}$ ; 320 K

B.  $\approx 580 \text{ m/s}$ ; 120 K

C.  $\approx 680$  m/s; 350 K

D.  $\approx 780$  m/s; 220 K

151. Geliy molekularining 0,40 K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi qanday? Quyosh atmosferasida geliy atomlarining 6000 K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi nimaga teng?

A. 50 m/s; 8,7 km/s

B. 60 m/s; 5,7 km/s

C. 70 m/s; 3,7 km/s

D. 30 m/s; 6,7 km/s

152. Karbonat angidrid gazi molekulasining 273 K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi 360 m/s ga teng. Uning 400 K haroratidagi tezligi qanday?

A.  $\approx 480$  m/s

B.  $\approx 470$  m/s

C.  $\approx 460$  m/s

D.  $\approx 450$  m/s

153. Qanday haroratli geliy molekulari vodorod molekulari 288 K haroratida erishadigan tezlikka ega bo'ladi?

A. 576 K

B. 476 K

C. 376 K

D. 276 K

154. Vodorod molekulasining 288 K da o'rtacha kvadratik tezligi 1900 m/s. Kislorod molekulasining 0°S dagi o'rtacha kvadratik tezligi qanday?

A. 460 m/s

B. 480 m/s

C. 490 m/s

D. 500 m/s

155. Suv bug'ining 12°S haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi qanday?

A. 621 m/s

B. 521 m/s

C. 421 m/s

D. 321 m/s

156. Kislorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 50 m/s bo'lgan jarayondagi haroratni aniqlang.

A. 269,2 K

B. 469,2 K

C. 569,2 K

D. 769,2 K

157. Tabiatdagi suvning aylanishi haqida nimalarni bilasiz?

- A. daryolarda suvning bug'lanishi va harorat pasayganda bug'ni yomg'ir bo'lib tushishi
- B. daryolarda suvning bug'lanishi va harorat ko'tarilganda bug'ni yomg'ir bo'lib tushishi
- C. daryolarda suvning bug'lanishi va harorat pasayganda bug'ning yoqilishi
- D. harorat ko'tarilganda bug'ni yomg'ir bo'lib tushishi

158. Suvning harorati atrofdagi havo haroratiga teng bo'lganda bug'lanish issiqligi qayerdan olinadi?

- A. bug'lanishda suyuqlikdan faqat juda tez molekulalargina ajralib chiqadi, ular ajralib ketishi bilan harorat pasayadi va atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi boshlanadi.
- B. bug'lanishda suyuqlikdan faqat juda tez molekulalargina ajralib chiqadi, ular ajralib ketishi bilan harorat ortadi va atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi boshlanadi.
- C. bug'lanishda suyuqlikdan faqat juda tez molekulalargina ajralib chiqadi, ular ajralib ketishi bilan harorat pasayadi va ularda issiqlik almashinuvi boshlanadi.
- D. bug'lanishda suyuqlikdan molekulalar ajralib chiqadi, ular ajralib ketishi bilan harorat ortadi va atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi boshlanadi.

159. Yomg'ir yoqqandan keyin hosil bo'lgan ko'lmak suv qanday havoda tezroq bug'lanib ketadi: shamolsiz havodami yoki shamol bo'lib turgan vaqtdami, issiq vaqtdami yoki sovuq vaqtdami? Buning sababi nimada?

- A. shamol bo'lib turganda, sababi shamol suv molekulalarini har tomonga tez harakatlantirib olib ketadi
- B. issiq vaqtda, sababi shamol suv molekulalarini har tomonga tez harakatlantirib olib ketadi
- C. sovuq vaqtda, sababi shamol suv molekulalarini har tomonga tez harakatlantirib olib ketadi
- D. shamolsiz havoda, sababi shamol suv molekulalarini har tomonga tez harakatlantirib olib ketadi

160. Yozning issiq kunlarida suvni muzdek saqlash uchun suv oz-ozdan sizib o'ta oladigan chala pishirilgan sopol idishga qo'yib qo'yiladi. Bunday idishdagi suv atrofdagi havodan sovuqroq bo'ladi. Nima uchun?

- A. bug'lanish vaqtida sovish jarayoni ketadi
- B. bug'lanish vaqtida isish jarayoni ketadi
- C. bug'lanishdan oldingi vaqtida sovish jarayoni ketadi

D. bug'lanishdan oldin isib oladi

161. Harorati  $100^{\circ}\text{S}$  bo'lgan 15 g suvni bug'ga aylantirish uchun qancha issiqlik miqdori kerak?

A. 345 kJ

B. 445 kJ

C. 645 kJ

D. 325 kJ

162. Harorati  $0^{\circ}\text{S}$  bo'lgan 5 kg suvni qaynatguncha isitish va bug'lantirib yuborish uchun qancha miqdor energiya sarflanishi kerak?

A.  $13,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

B.  $11,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

C.  $23,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

D.  $16,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

163. Qattiq jismlar ham bug'lanadimi?

A. ha, qattiq jismlarning bug'lanishi ularning hididan bilinadi

B. yo'q

C. ha, qattiq jismlarning bug'lanishi ularning haroratiga bog'liq

D. to'g'ri javob keltirilmagan

164. Harorati  $100^{\circ}\text{S}$  bo'lgan 1 kg suv bug'ining ichki energiyasi o'shanday haroratli 1 kg suvning ichki energiyasi qancha ortadi?

A.  $2,3 \cdot 10^6 \text{ J}$

B.  $1,3 \cdot 10^6 \text{ J}$

C.  $2,7 \cdot 10^6 \text{ J}$

D.  $4,3 \cdot 10^6 \text{ J}$

165. Qaynash haroratidagi 10 kg suyuq ammiakni gazga aylantirish uchun qancha miqdorda energiya sarf qilish kerak?

A.  $14 \cdot 10^6 \text{ J}$

B.  $16 \cdot 10^6 \text{ J}$

C.  $20 \cdot 10^6 \text{ J}$

D.  $15 \cdot 10^6 \text{ J}$

166. Suyuqlikning qaynash haroratini oshirish mumkinmi?

A. ha, 12% osh tuzi eritilgan suv  $102^{\circ}\text{S}$  da qaynaydi

B. yo'q, 12% osh tuzi eritilgan suv  $92^{\circ}\text{S}$  da qaynaydi

C. yo'q, 12% osh tuzi eritilgan suv  $80^{\circ}\text{S}$  da qaynaydi

D. to'g'ri javob keltirilmagan

167. Elektr choynakdagi suv 6 minutda  $0^{\circ}\text{S}$  dan qaynash haroratigacha isiydi. Shundan keyin hamma suv necha minutda qaynab tugaydi?

A.  $\approx 33 \text{ min}$

B.  $\approx 53 \text{ min}$



C.  $\approx 23$  min

D.  $\approx 11$  min

168.  $20^{\circ}\text{S}$  haroratdagi 100 g suvni qaynatish va uning 20 grammni bug'latish uchun qancha issiqlik miqdori kerak?

A. 80 kJ

B. 90 kJ

C. 70 kJ

D. 56 kJ

169.  $10^{\circ}\text{S}$  haroratli 2 kg suvni isitish uchun 1,05 MJ issiqlik miqdori sarflanadi. Bunda qancha miqdor suv bug'ga aylanadi?

A.  $\approx 0,13$  kg

B.  $\approx 1,13$  kg

C.  $\approx 0,23$  kg

D.  $\approx 0,53$  kg

170.  $100^{\circ}\text{S}$  haroratdagi 0,02 kg suv suv bug'ining kondensatsiyalanishida va hosil bo'lgan suvning  $20^{\circ}\text{S}$  gacha sovishida qancha issiqlik miqdori ajraladi?

A.  $\approx 5$  kJ

B.  $\approx 6$  kJ

C.  $\approx 7$  kJ

D.  $\approx 8$  kJ

171. 80 kg suvni 5 dan  $35^{\circ}\text{S}$  gacha isitish uchun  $100^{\circ}\text{S}$  li suv bug'idan qancha miqdor talab qilinadi?

A.  $\approx 3,5$  kg

B.  $\approx 4,5$  kg

C.  $\approx 5,5$  kg

D.  $\approx 6,5$  kg

172.  $20^{\circ}\text{S}$  haroratdagi 0,5 kg suvga  $100^{\circ}\text{S}$  haroratli suv bug'i kiritildi va bu bug' keyin suvga aylandi. Suvning bug' kiritilgandan keyingi muvozanat haroratini aniqlang.

A.  $\approx 100^{\circ}\text{S}$

B.  $\approx 150^{\circ}\text{S}$

C.  $\approx 200^{\circ}\text{S}$

D.  $\approx 300^{\circ}\text{S}$

173. Massasi 0,3 kg bo'lgan alyuminiy idishda  $10^{\circ}\text{S}$  haroratdagi 2 kg suvni qaynatish uchun qancha issiqlik miqdori sarf qilish kerak?

A.  $7,8 \cdot 10^5$  J

B.  $8,8 \cdot 10^5$  J

C.  $9,8 \cdot 10^5$  J

D.  $6,8 \cdot 10^5$  J

174. Harorati  $17^\circ\text{S}$  bo'lgan yomg'ir tomchilari yerga urilgandan bug'lanib ketishi uchun ular qanday balandlikdan tushishi lozim? Havoning qarshiligni hisobga olmang.

A. 204 km

B. 214 km

C. 254 km

D. 304 km

175. Manometrning ko'rsatishicha qozonda suv bug'ining bosimi 80 kPa. Shunga qaramay qozondagi suv bug'ining harorati  $100^\circ\text{S}$  dan yuqori. Nima uchun?

A. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolyut bosimi  $1,8 \cdot 10^5$  Pa, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta yuqori bosimni ko'rsatgan

B. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolyut bosimi  $2,8 \cdot 10^5$  Pa, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta yuqori bosimni ko'rsatgan

C. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolyut bosimi  $4,8 \cdot 10^5$  Pa, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta yuqori bosimni ko'rsatgan

D. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolyut bosimi  $1,8 \cdot 10^3$  Pa, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta past bosimni ko'rsatgan

176. Shpritslarni qaynatadigan idishda boshlang'ich harorati  $10^\circ\text{S}$  bo'lgan 0,5 l hajmdagi suv qaynab tamom bo'ldi. Qancha issiqlik miqdori ortiqcha sarflangan?

A.  $1,33 \cdot 10^6$  J

B.  $1,33 \cdot 10^5$  J

C.  $1,33 \cdot 10^3$  J

D.  $1,33 \cdot 10^8$  J

177. Havoning absolyut namligi  $10 \text{ g/m}^3$ , uying harorati  $18^\circ\text{S}$  bo'lganda, uydagi havoning nisbiy namligi qancha bo'ladi?

A.  $\approx 63\%$

B.  $\approx 73\%$

C.  $\approx 83\%$

D.  $\approx 93\%$

178. Havoning absolyut namligi  $10,7 \text{ g/m}^3$ , harorati  $24^\circ\text{S}$  bo'lganda, havoning nisbiy namligi qancha bo'ladi?

A. 50%

B. 60%

C. 70%

D. 80%

179. Quruq termometr  $20^{\circ}\text{S}$ , ho'llangani esa  $15,5^{\circ}\text{S}$  ni ko'rsatib turibdi, havoning nisbiy namligini toping.

A. 65%

B. 64%

C. 63%

D. 66%

180. Nima uchun o'simlik barglarida shudring paydo bo'ladi?

A. yer sirtidan ko'tarilgan suv bug'ning kondensatsiyalanishida

B. yer sirtidan ko'tarilgan azotning kondensatsiyalanishida

C. yer sirtidan ko'tarilgan kislorodning kondensatsiyalanishida

D. yer sirtidan ko'tarilgan ozonning kondensatsiyalanishida

181. Qirov qachon paydo bo'ladi? Nima uchun?

A. kunduzi havo isib suv bug'lari ko'tariladi va kechga havo keskin pasayganda

B. kunduzi havo sovib suv bug'lari ko'tariladi va kechga havo keskin pasayganda

C. kunduzi havo isib suv bug'lari ko'tariladi va kechga havo keskin oshganda

D. kunduzi havo isib suv bug'lari ko'tariladi va kechga yomg'ir yoqqanda

182. Havoning harorati  $20^{\circ}\text{S}$ , shudring nuqtasi  $8^{\circ}\text{S}$ . Havoning absolyut va nisbiy namligi qanday?

A.  $\approx 48\%$

B.  $\approx 58\%$

C.  $\approx 67\%$

D.  $\approx 92\%$

183. Havoning harorati  $28^{\circ}\text{S}$  bo'lganda nisbiy namligi 100% ga teng. Namlik 50% gacha kamayganida yerto'ladagi havoning harorati necha gradusga ko'tarilishi kerak?

A.  $\approx 16,6 \text{ g/m}^3$

B.  $\approx 26,6 \text{ g/m}^3$

C.  $\approx 36,6 \text{ g/m}^3$

D.  $\approx 46,6 \text{ g/m}^3$

184. Yerto'lada  $10^{\circ}\text{S}$  haroratda havoning nisbiy namligi 100% ga teng. Namlik 50% gacha kamayishi uchun yerto'ladagi havoning haroratini necha gradusga ko'tarish lozim?

- A. 21°S
- B. 31°S
- C. 41°S
- D. 51°S

185. Dengizda havo harorati 20°S bo'lganda nisbiy namlik 85% ga teng. Havoning harorati qanday bo'lganda tuman tushishi mumkin?

- A. ≈23°S
- B. ≈33°S
- C. ≈43°S
- D. ≈53°S

186. Kechqurun havoning harorati 25°S bo'lsa, nisbiy namlik 60% ni tashkil etadi. Agar tunda tuproqning harorati 13°S gacha pasaysa shudring tushadimi 17°S gacha pasaysachi?

- A. ha, yo'q
- B. yo'q, ha
- C. ha, ha
- D. yo'q, yo'q

187. Kechqurun havoning harorati 5°S bo'lsa, nisbiy namlik 65% ni tashkil etsa, agar tushda harorat 4°S gacha pasaysa qirov tushadimi? 5°S gacha pasaysachi?

- A. yo'q, ha
- B. ha, ha
- C. ha, yo'q
- D. yo'q, yo'q

188. Qovun va bodring urug'larini unib chiqishi uchun issiqxonada 32°S harorat va 95% nisbiy namlik saqlanishi lozim, agar psixrometrning nam termometri 30°S ni, quruq termometri 31°S ni ko'rsatayotgan bo'lsa, bu talab bajariladimi?

- A. ha
- B. yo'q
- C. aniq emas
- D. to'g'ri javob berilmagan

189. Xonadagi havoning namligi juda yuqori. Tashqari sovuq va yomg'ir yo'gayotgan bo'lsa, oynaning kichkina tirqishini ochish maqsadga muvofiq bo'ladimi?

- B. xonadagi havo quruq bo'lishi uchun ochish kerak
- C. yo'q
- D. ha
- E. to'g'ri javob berilmagan

190. Yog'li suvda nima uchun nina yoki tanga tez cho'kib ketmaydi?

- A. sirt taranglik koeffitsiyenti ta'sirida
- B. molekulalarning xaotik harakati uchun
- C. diffuziya ta'sirida
- D. to'g'ri javob berilmagan

191. Tomizgichdan oqib o'tayotgan suv tomchisi nima uchun asta-sekin uzilib tushadi?

- A. tomchining og'irlik kuchi ortadi
- B. tomchining og'irlik kuchi kamayadi
- C. tomchi og'irlashganligi uchun
- D. to'g'ri javob berilmagan

192. Sim ramkadagi sovun pardani  $4 \text{ sm}^2$  ga burish uchun qancha ish bajarish kerak?

- A.  $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$
- B.  $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$
- C.  $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$
- D.  $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ J}$

193. Qachon jo'mrakdagi suv tomchisi uzilib tushadi?

- A. tomchining og'irlik kuchi sirt taranglik kuchidan katta bo'lganda
- B. tomchining og'irlik kuchi sirt taranglik kuchidan kichik bo'lganda
- C. tomchining og'irlik kuchi sirt taranglik kuchiga teng bo'lganda
- D. to'g'ri javob berilmagan

194. Sirt taranglik koeffitsiyenti haroratga bog'liqmi?

- A. ha, harorat ortsa sirt taranglik koeffitsiyenti kamayadi
- B. ha, harorat ortsa sirt taranglik koeffitsiyenti ortadi
- C. yo'q, harorat ortsa sirt taranglik koeffitsiyenti kamayadi
- D. yo'q, harorat ortsa sirt taranglik koeffitsiyenti ortadi

195. Gugurt cho'pi suv yuzida suzib yuribdi, uning bir tomoniga sovun eritma qo'yilsa, cho'p qaysi tomonga harakat qiladi? Nima uchun?

- A. sirt taranglik kuchi ta'sirida sovun eritmasi quyilmagan tomonga harakat qiladi.
- B. sirt taranglik kuchi ta'sirida sovun eritmasi quyilgan tomonga harakat qiladi.
- C. sirt taranglik kuchi ta'sirisiz sovun eritmasi quyilmagan tomonga harakat qiladi.
- D. sirt taranglik kuchi ta'sirisiz sovun eritmasi quyilgan tomonga harakat qiladi.

196. Diametri 186 sm, massasi 8 g bo'lgan yupqa metall halqa suv sirtiga butun aylanasi bo'yicha tegib turgan bo'lsa, uni ajratib olish uchun qancha kuch kerak?

- A. 0,1 N
- B. 0,01 N
- C. 0,001 N
- D. 0,5 N

197. 14 sm diametrli sovun pufagi hosil qilish uchun qanday ish bajarish kerak? Atmosfera bosimini hisobga olmang.

- A.  $\approx 1,23$  mJ
- B.  $\approx 1,23$  kJ
- C.  $\approx 1,23$  GJ
- D.  $\approx 1,23$  mkJ

198. Kapillyarlarda suyuqlik qanday energiya hisobiga ortadi?

- A. suyuqlikning sirt energiyasi hisobiga
- B. suyuqlikning kinetik energiyasi hisobiga
- C. suyuqlikning ichki energiyasi hisobiga
- D. to'g'ri javob berilmagan

199. Diametri 2 mkm bo'lgan kapillyarlarda suv qanday balandliklarda ko'tariladi?

- A. 14,6 m
- B. 24,6 m
- C. 34,6 m
- D. 54,6 m

200. Kerosin pilikda 100 mm balandlikda ko'tarildi. Pilikning diametri qancha?

- A. 12 mkm
- B. 22 mkm
- C. 32 mkm
- D. 42 mkm

201. Diametri 2 mm bo'lgan kapillyar idishda suv 14,6 mm balandlikda ko'tarilgan bo'lsa, uning sirt taranglik koeffitsiyentini toping.

- A.  $73 \cdot 10^{-8}$  N/m
- B.  $83 \cdot 10^{-8}$  N/m
- C.  $93 \cdot 10^{-8}$  N/m
- D.  $53 \cdot 10^{-8}$  N/m

202. Kapillyar nayda kerosin 55 mm balandlikka, suv 142 mm balandlikka ko'tariladi. Kerosinning zichligini toping.

- A.  $800 \text{ kg/m}^3$

B.  $810 \text{ kg/m}^3$

C.  $820 \text{ kg/m}^3$

D.  $840 \text{ kg/m}^3$

203. Radiusi  $0,2 \text{ mm}$  bo'lgan kapillyar nayda ko'tarilgan spirtning massasini aniqlang.

A.  $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

B.  $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

C.  $3,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

D.  $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

204. Qanday bosim kapillyar bosim deb ataladi? Uning fizik ma'nosini tushuntiring.

A. eng katta balandlikdagi qo'shimcha bosim kapillyar bosim deb ataladi

B. eng kichik balandlikdagi qo'shimcha bosim kapillyar bosim deb ataladi

C. eng katta balandlikdagi bosim kapillyar bosim deb ataladi

D. eng kichik balandlikdagi bosim kapillyar bosim deb ataladi

205. Ichki diamateri  $0,4 \text{ mm}$  bo'lgan silindrsimon naycha glitserin solingan idishga tushirilgan. Naycha ichdagi glitserin massasini aniqlang (kg).

A.  $1 \cdot 10^{-5}$

B.  $1 \cdot 10^{-6}$

C.  $1 \cdot 10^{-7}$

D.  $1 \cdot 10^{-4}$

206. Shakar bilan qand tuzilishi orasida qanday farq bor?

A. shakar monokristall, qand polikristall

B. shakar polikristall, qand monokristall

C. shakar ham, qand ham polkristall

D. shakar ham, qand ham monokristall

207. Nima uchun uglerod tabiatda ko'pincha olmos shaklida emas, balki grafit shaklida uchraydi?

A. olmosning paydo bo'lishi uchun  $1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$  bosim va  $2000^\circ\text{S}$  harorat kerak, olmos yerning chuqur qatlamida hosil bo'ladi, grafit past bosim va haroratda yerning ustki qatlamida mavjud bo'ladi

B. olmosning paydo bo'lishi uchun  $1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$  bosim va  $2000^\circ\text{S}$  harorat kerak, olmos yerning ustki qatlamida hosil bo'ladi, grafit past bosim va haroratda yerning ustki qatlamida mavjud bo'ladi

C. olmosning paydo bo'lishi uchun  $1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$  bosim va  $2000^\circ\text{S}$  harorat kerak, olmos yerning chuqur qatlamida hosil bo'ladi, grafit past bosim va haroratda yerning ichki qatlamida mavjud bo'ladi

D. olmosning paydo bo'lishi uchun  $1 \cdot 10^{10}$  Pa bosim va  $2000^{\circ}\text{S}$  harorat kerak, olmos yerning ustki qatlamida hosil bo'ladi, grafit past bosim va haroratda yerning chuqur ichki qatlamida mavjud bo'ladi

208. Po'lat o'tda toblanib ishlov berilgadan so'ng sovuq suvga solinib olinadimi? Nima uchun?

A. po'latning sovish tezligi katta, kristallning o'sish vaqti kam bo'lib, kristall donachalardan iborat bo'ladi

B. po'latning sovish tezligi juda kichik, kristallning o'sish vaqti kam bo'lib, kristall donachalardan iborat bo'ladi

C. po'latning sovish tezligi katta, kristallning o'sish vaqti ko'p bo'lib, kristall donachalardan iborat bo'ladi

D. po'latning sovish tezligi kichik, kristallning o'sish vaqti ko'p bo'lib, kristall donachalardan iborat bo'ladi

209. Taxtani qanday randalash qulayroq?

A. yog'ochning tola tuzilishi anizotropiyaga ega, shuning uchun tolasi (yo'li) bo'ylab

B. yog'ochning tola tuzilishi anizotropiyaga ega, shuning uchun tolasi (yo'li) bo'ylab qarama-qarshi

C. yog'ochning tola tuzilishi anizotropiyaga ega, shuning uchun tolasi (yo'li) bo'ylab, keyin qarama-qarshi

D. to'g'ri javob berilmagan

210. Nima uchun tabiatda shar shaklidagi kristallar uchramaydi?

A. anizotropiya tufayli bunday kristallar uchramaydi

B. molekularning tartibsiz harakati tufayli bunday kristallar uchramaydi

C. tabiatdagi hodisalar tufayli bunday kristallar uchramaydi

D. to'g'ri javob berilmagan

211. Sterjenning o'qi bo'yicha yo'nalgan  $1,95$  kN kuch ta'sirida unda  $1,5 \cdot 10^8$  Pa kuchlanish paydo bo'ldi. Sterjenning yuzi qancha?

A.  $0,13 \text{ sm}^3$

B.  $0,23 \text{ sm}^3$

C.  $0,53 \text{ sm}^3$

D.  $0,83 \text{ sm}^3$

212. Sim arqonga og'irligi  $8$  kN yuk ta'sir qilganda  $8$  MPa mexanik kuchlanishga ega bo'ladi. Sim arqonning diametrini aniqlang.

A.  $0,022$

B.  $0,0022$

C.  $0,22$

D.  $22$



213. Uzunligi 5 m, kesim yuzi  $2 \text{ mm}^2$  bo'lgan sigma 40 N yuk osilgan. Simning cho'zilish koeffitsiyentini va elastiklik modulini toping.

- A.  $20000 \text{ N/mm}^2$ , 32 mm
- B.  $10000 \text{ N/mm}^2$ , 86 mm
- C.  $30000 \text{ N/mm}^2$ , 23 mm
- D.  $50000 \text{ N/mm}^2$ , 45 mm

214. Uzunligi 8,4 m bo'lgan sim o'ta yuklanish ta'sirida 3,7 mm cho'zildi. Simning absolyut va nisbiy uzayishini aniqlang.

- A.  $4,4 \cdot 10^{-4}$ ; 3,7 mm
- B.  $5,4 \cdot 10^{-4}$ ; 5,7 mm
- C.  $3,4 \cdot 10^{-4}$ ; 2,7 mm
- D.  $2,4 \cdot 10^{-4}$ ; 1,7 mm

215. Sterjenning yuqori uchi mahkamlangan, pastki uchiga esa 30 kN yuk osilgan. Sterjenning uzunligi 6,0 m, ko'ndalang kesim yuzi  $5,0 \text{ sm}^2$ . Sterjen materialining kuchlanishini hamda uning absolyut va nisbiy uzayishini aniqlang.  $E=20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$

- A. 60 mm; 1,8 mm
- B. 45 mm; 1,3 mm
- C. 56 mm; 7,8 mm
- D. 98 mm; 4,3 mm

216. 35 kN yuklamada cho'ziluvchi kuchlanish  $7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  ga teng bo'lishi uchun qanday diametrli po'lat sterjen olish kerak? Agar sterjenning dastlabki uzunligi 3,0 m bo'lsa, uning absolyut uzayishi qanday?

- A. 1 mm
- B. 2 mm
- C. 5 mm
- D. 4 mm

217. 100 N kuch ta'sirida uzunligi 5 m va kesim yuzi  $2,5 \text{ mm}^2$  bo'lgan sim 1 mm uzayadi. Simda qanday kuchlanish hosil bo'lishini va uning Yung modulini toping.

- A.  $4 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ;  $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- B.  $2 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ;  $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- C.  $3 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ;  $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- D.  $5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ;  $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$

218. Uzunligi 1,5 m va ko'ndalang kesimining yuzi  $5 \text{ mm}^2$  bo'lgan sim 40 N kuch ta'sirida 1 mm uzaysa, bu simning Yung modulini toping.

- A.  $1,2 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
- B.  $1,3 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$

C.  $1,5 \cdot 10^{10}$  Pa

D.  $1,4 \cdot 10^{10}$  Pa

219. Uzunligi 1 m va ko'ndalang kesimining yuzi  $10 \text{ mm}^2$  bo'lgan mis sterjenga 100 kg massali yuk osilgan. Sterjenning absolyut uzayishi aniqlansin. Mis uchun Yung modulu  $1,2 \cdot 10^{11}$  Pa.

A. 0,83 mm

B. 0,72 mm

C. 0,45 mm

D. 0,33 mm

220. Mustahkamlik zahirasi 8 bo'lishi uchun g'ishtli bino qanday maksimal balandlikka ega bo'lishi kerak? G'ishtning mustahkamligi  $60 \cdot 10^6$  Pa ga teng.

A.  $4,16 \cdot 10^2$  m

B.  $5,16 \cdot 10^2$  m

C.  $3,16 \cdot 10^2$  m

D.  $2,16 \cdot 10^2$  m

221. O'lchash vaqtida po'lat chizg'ichni nima uchun bukish mumkin emas?

A. mo'rt

B. kristall

C. amorf

D. to'g'ri javob yo'q

222. Diametri 18 mm bo'lgan tanga shtamplanmoqda, tayyorlov uchun berilayotgan kuch qanday? Metallning oquchanlik chegarasi  $200 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>.

A.  $\approx 51$  kN

B.  $\approx 41$  kN

C.  $\approx 61$  kN

D.  $\approx 71$  kN

223. Alyuminiy, qo'rg'oshin va jez simlarining ko'ndalang kesimlarining yuzi  $0,1 \text{ mm}^2$  dan bo'lib, 6 N kuch ta'sir qilsa, har qaysi simda qanday hodisa ro'y beradi.

A. plastik deformatsiya, uzilish bo'ladi, elastik deformatsiya ro'y beradi

B. elastik deformatsiya, uzilish bo'ladi, elastik deformatsiya ro'y beradi

C. elastik deformatsiya, uzilish bo'ladi, plastik deformatsiya ro'y beradi

D. plastik deformatsiya, uzilish bo'ladi, plastik deformatsiya ro'y beradi

224. Teplovoz vagonni 75 kN kuch bilan tortib ketmoqda. Teplovozdagi tirkama moslamasining ko'ndalang kesimi  $100 \text{ cm}^2$ , mustahkamlik chegarasi  $5 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup> bo'lsa, uning mustahkamlik zahirasi qanday?

A.  $\approx 67$

B.  $\approx 47$

C.  $\approx 57$

D.  $\approx 77$

225. Ko'ndalang kesimining yuzi  $10 \text{ mm}^2$  dan katta bo'lmagan simga  $600 \text{ N}$  kuch osilgan. Agar besh karrali mustahkamlik zonasini ta'minlash zarur bo'lsa, qanday materialdan qilingan sim olish lozim?

A.  $3 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

B.  $4 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

C.  $5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

D.  $6 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

226. Mustahkamlik zahirasi  $10$  ga teng bo'lgan  $0,03 \text{ m}$  diametrli po'latdan tayyorlangan sim arqonga qanday yuk osish mumkin? Po'latning mustahkamlik chegarasi  $7 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ .

A.  $\approx 50$

B.  $\approx 60$

C.  $\approx 70$

D.  $\approx 80$

227. Absolyut nol harorat va izotermik jarayonda sistema ... sining o'zgarishi nolga teng.

A. entropiya

B. ichki energiya

C. harorat

D. hajm

228. Termodinamikaning 3-qonuni odatda ... prinsipi deb ham yuritiladi.

A. Nernst

B. Karno

C. Plank

D. Klauzius

229. Molekulalar issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasiga ... deb aytiladi.

A. harorat

B. ichki energiya

C. ish

D. bosim

230. Zichlikga teskari mutanosib bo'lgan fizik kattalikka ... deb aytiladi.

A. solishtirma hajm

B. solishtirma bosim

C. solishtirma harorat

D. to'g'ri javob yo'q

231.  $V_\mu = \mu v = \mu / \rho$  fizik kattalik molyar ... ni ifodalaydi.

A. hajm

B. massa

C. konsentratsiya

D. harorat

232.  $M = m_o N_A$  matematik ifoda ... massani ifodalaydi.

A. molyar

B. atom

C. ion

D. tinchlikdagi

233. Suyuqlikka solingan qattiq jism zarralarining suyuqlik molekulari ta'siridagi harakatiga ... harakati deyiladi.

A. Broun

B. issiqlik

C. aylanma

D. chiziqli

234. Diffuziya moddaning qaysi agregat holatlarida kuzatiladi?

A. gaz, suyuq, qattiq

B. faqat gaz

C. faqat suyuq

D. faqat qattiq

235. Diffuziya haroratga qanday bog'liq?

A. harorat ortishi bilan tezlashadi

B. harorat ortishi bilan kamayadi

C. o'zgarmaydi

D. haroratga bog'liq emas

236. Diffuziya qaysi moddalarda harorat bilan birga bosimga ham bog'liq bo'ladi?

A. qattiq

B. suyuq

C. gaz

D. plazma

237. Aralashmadagi ayni bir moddaning bosimi ... bosim deb aytiladi.

A. partsial

B. atmosfera

C. umumiy

D. tog'ri javob yo'q

238. Bir xil sharoitda quyida keltirilgan qaysi element molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi eng katta?

- A. vodorod
- B. kislород
- C. geliy
- D. uglerod

239. Bir xil haroratda suv, suv bug'i va muz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi va kinetik energiyalari qanday bo'ladi?

- A. bir xil bo'ladi
- B. suvniki eng katta bo'ladi
- C. suv bug'niki eng katta bo'ladi
- D. muzniki eng katta bo'ladi

240. Bir xil haroratda istalgan modda molekularining ... bir xil bo'ladi

- A. kinetik energiyasi
- B. tezligi
- C. zichligi
- D. ichki energiyasi

241. Moddaning qaysi holatida moddani tashkil etgan molekularning kinetik va potensial energiyalari taxminan tehg bo'ladi?

- A. suyuq
- B. gaz
- C. qattiq
- D. plazma

242. Moddaning qaysi holatida moddani tashkil etgan molekularning kinetik energiyasi uning potensial energiyasidan katta bo'ladi?

- A. gaz
- B. suyuq
- C. qattiq
- D. plazma

243. Moddaning qaysi holatida moddani tashkil etgan molekularning kinetik energiyasi uning potensial energiyasidan kichik bo'ladi?

- A. qattiq
- B. gaz
- C. suyuq
- D. plazma

244. Issiqlik uzatish necha turga bo'linadi?

- A. 3 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya, nurlanish)
- B. 2 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya)
- C. 1 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik)

D. faqat 2 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, nurlanish)

245. 1 gramm suvni  $1^{\circ}\text{S}$  (K) ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga ... deyiladi

A. 1 kaloriya

B. 1 Joul

C. 1 erg

D. 1 eV

246. Quyidagi hollarning qaysisida moddaning massasi oshadi?

A. eriganda, isiganda, bug'langanda

B. eriganda, qotganda

C. isiganda, kondensatsiyalanganda

D. soviganda, bug'langanda

247. Quyidagi hollarning qaysisida moddaning massasi kamayadi?

A. soviganda, qotganda, kondensatsiyalanganda

B. soviganda

C. qotganda

D. eriganda, isiganda, bug'langanda

248. Biror vaqt ichida suyuqlik yuzasidan bug'lanib chiqayotgan suyuqlik miqdori, kondensatsiyalanayotgan suyuqlik miqdoriga teng bo'lishi ..... muvozanat deb aytiladi

A. dimanik

B. turg'un

C. turg'unmas

D. befarq

249. Gaz bilan bug'ning bir-biridan farqi nimada?

A. bug'ning harorati qaynash haroratiga teng yoki bir oz yuqori, gazning harorati esa qaynash haroratidan juda yuqori bo'ladi

B. bug'ning harorati qaynash haroratiga teng emas yoki bir oz past, gazning harorati esa qaynash haroratidan juda yuqori bo'ladi

C. bug'ning harorati qaynash haroratiga teng yoki bir oz yuqori, gazning harorati esa qaynash haroratidan juda past bo'ladi

D. bug'ning harorati qaynash haroratidan kichik, gazning harorati esa qaynash haroratidan juda past bo'ladi

250. Havodagi suv bug'i to'yingan bug'ga aylanadigan harorat ... deyiladi

A. shudring nuqta

B. kritik nuqta

C. qirov

D. tuman

251. Harorat ortganda absolyut va nisbiy namlik qanday o'zgaradi?

- A. absolyut namlik o'zgarmaydi, nisbiy namlik kamayadi
- B. absolyut namlik o'zgarmaydi, nisbiy namlik ortadi
- C. absolyut namlik kamayadi, nisbiy namlik kamayadi
- D. absolyut namlik ortadi, nisbiy namlik kamayadi

252. To'yingan bug'ning bosimi, konsentratsiyasi va zichligi  $V$  (hajm) hamda  $T$  (harorat) ga qanday bog'liq?

- A. hajmga bog'liq emas, faqat haroratga bog'liq
- B. hajmga to'g'ri mutanosib, faqat haroratga bog'liq
- C. hajmga teskari mutanosib, faqat haroratga bog'liq
- D. faqat haroratga bog'liq emas

253. Gazni (bug'ni) siqish yo'li bilan suyuqlikka aylantirib bo'lmaydigan eng past harorat ... harorat deyiladi

- A. kritik
- B. absolyut
- C. qaynash
- D. qotish

254. Muz qanday jismlar uchun isitkich bo'la oladi?

- A. o'zidan sovuqroq jismlar uchun
- B. o'zidan issiqroq jismlar uchun
- C. suv uchun
- D. to'g'ri javob yo'q.

255. To'yingan bug' quyidagi qonunlarning qaysilariga bo'ysunadi?

- A. Mendeleyev-Klapeyron, Sharl
- B. Mendeleyev-Klapeyron, Sharl, Boyle-Mariott
- C. Mendeleyev-Klapeyron, Sharl, Gey-Lyussak
- D. Mendeleyev-Klapeyron, Boyle-Mariott

256. Suyuqlik qanday haroratda qaynay boshlaydi?

- A. suyuqlik pufakchalari ichidagi to'yingan bug' bosimi suyuqlikdagi bosimga tenglashgandagi haroratda
- B. suyuqlik pufakchalari ichidagi to'yingan bug' bosimi suyuqlikdagi bosimdan kamaygandagi haroratda
- C. suyuqlik pufakchalari ichidagi to'yingan bug' bosimi suyuqlikdagi bosimdan ortgandagi haroratda
- D. suyuqlik pufakchalari ichidagi to'yingan bug' bosimi suyuqlikdagi bosimdan keskin ortgandagi haroratda

257. Moddaning qattiq holatdan to'g'ridan-to'g'ri gaz holatga o'tishi ... deyiladi

- A. sublimatsiya
- B. kondensatsiya

C. konveksiya

D. kristalizatsiya

258. Moddaning gaz holatdan suyuq holatga o'tishi yoki bug'lanishga teskari bo'lgan jarayon ... deyiladi.

A. kondensatsiya

B. sublimatsiya

C. konveksiya

D. kristalizatsiya

259. Modda eriganda, isiganda, bug'langanda sublimatsiya hodisasida ichki energiya ...

A. ortadi

B. kamayadi

C. o'zgarmaydi

D. boshqa energiya turiga o'tadi

260. Modda soviganda, qotganda, kondensatsiyalanganda issiqlik ... va ichki energiya ...

A. ajraladi, kamayadi

B. yutadi, ortadi

C. ajraladi, ortadi

D. yutadi, kamayadi



## ILOVALAR

### Fizik doimiyliklar

<i>Nomi</i>	<i>Belgilanishi</i>	<i>SI dagi son qiymati</i>
Yorug'lik tezligi	$c$	$3 \cdot 10^8$ m/s
Elektron zaryadi	$Q$	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl
Plank doimiysi	$H$	$6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s
Avogadro doimiysi	$N_A$	$6,022 \cdot 10^{23}$ 1/mol
Massaning atom birligi	$m.a.b.$	$1,66 \cdot 10^{-27}$ kg
Elektron massasi	$M_e$	$9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
Proton massasi	$M_p$	$1,672610^{-27}$ kg
Neytron massasi	$M_n$	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg
Faradey doimiysi	$F$	$9,64810^4$ Kl/mol
Ridberg doimiysi	$R$	$1,0973 \cdot 10^{-7}$ 1/m
Bor radiusi	$a_o$	$5,29 \cdot 10^{-11}$ m
Elektronning klassik radiusi	$r_e$	$2,8179 \cdot 10^{-15}$ m
Bor magnetoni	$\mu_B$	$9,274 \cdot 10^{-24}$ J/Tl
Gaz doimiysi	$R$	8,31 J/k·mol
Bolsman doimiysi	$K$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ J/mol
Stefan-Bolsman doimiysi	$G$	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Vt/m <sup>2</sup> ·k <sup>4</sup>
Loshmidt doimiysi	$n_o$	$2,68676 \cdot 10^{-25}$ 1/m <sup>3</sup>
Normal erkin tushishi tezlanishi	$g_H$	9,8 m/s <sup>2</sup>
Normal atmosfera bosimi	$P_{atm}$	101325 Pa
Normal sharoitda bir mol ideal gaz hajmi	$V_m$	$22,41 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup>
Tovushning havodagi tezligi	$C$	331,6 m/s

### Atom va molekularning massalari

<i>Atomlar</i>	$m_a$ $10^{-27}$ kg	<i>Molekularlar</i>	$m_a$ $10^{-27}$ kg
Azot	23,2	Azot N <sub>2</sub>	46,5
Alyuminiy	44,8	Ammiak NH <sub>3</sub>	28,3
Vodorod	1,67	Suv H <sub>2</sub> O	29,9
Geliy	6,64	Vodorod H <sub>2</sub>	3,3
Temir	92,8	Havo	48,1

Oltin	327	Natriy gidroksid NaOH	66,4
Kislorod	26,6	Rux karbonat ZnCO <sub>3</sub>	208
Kremniy	46,6	Kislorod O <sub>2</sub>	53,2
Mis	105	Metan CH <sub>4</sub>	26,6
Natriy	38,1	Kumush nitrat AgNO <sub>3</sub>	282
Simob	333	Ozon O <sub>3</sub>	80
Qo'rg'oshin	344	Alyuminiy oksid Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	169
Oltingugurt	53,2	Simob oksidi (II) HgO	360
Kumush	179	Uglerod oksidi (II) CO	46,5
Uglerod	19,9	Uglerod oksidi (IV) CO <sub>2</sub>	73
Uran	395	Uran oksidi UO <sub>2</sub>	448
Ftor	31,5	Mis sulfat CuSO <sub>4</sub>	265
Xlor	58,9	Qo'rg'oshin sulfat PbSO <sub>4</sub>	503
Rux	109	Natriy xlorid NaCl	97

### *Gaz molekularining diametri*

<i>Gaz</i>	<i>d<sub>μ</sub>, nm</i>	<i>d<sub>B</sub>, nm</i>	<i>d<sub>T</sub>, nm</i>	<i>d<sub>D</sub>, nm</i>	<i>d<sub>T, J</sub>, nm</i>
Azot	0,370	0,315	0,353	0,369	-
Ammiak	0,443	0,297	0,308	-	-
Argon	0,367	0,294	0,286	0,382	0,415
Vodorod	0,275	0,276	0,232	0,268	0,419
Suv bug'i	0,468	0,289	-	-	0,348
Havo	0,374	-	-	-	-
Geliy	0,218	0,266	0,230	-	0,421
Kislorod	0,364	0,293	0,351	0,355	0,373
Neon	0,260	0,238	0,267	0,305	0,340
Uglerod oksid (IV)	0,465	0,324	0,340	-	-

### *Ayrim ikki atomli molekullarda atomlararo (yadrolararo) masofa*

<i>Molekula</i>	<i>R<sub>o</sub>, nm</i>	<i>Molekula</i>	<i>R<sub>o</sub>, nm</i>
Azot N <sub>2</sub>	0,109	Kislorod O <sub>2</sub>	0,121
Azot oksidi (IV) NO	0,115	Litiy Li <sub>2</sub>	0,267
Bor B <sub>2</sub>	0,159	Natriy Na <sub>2</sub>	0,308
Brom Br <sub>2</sub>	0,214	Simob Hg <sub>2</sub>	0,330
Vodorod bromid HBr	0,141	Oltingugurt S <sub>2</sub>	0,189
Kaliy bromid KBr	0,294	Uglerod C <sub>2</sub>	0,131

Vodorod H <sub>2</sub>	0,074	Fosfor P <sub>2</sub>	0,189
Litiy gidrid LiH	0,159	Ftor F <sub>2</sub>	0,143
Yod J	0,267	Vodorod ftorid HF	0,092
Vodorod yodid HJ	0,160	Xlor Cl <sub>2</sub>	0,199
Kaliy K <sub>2</sub>	0,392	Kaliy xlorid KCl	0,279

***Gaz molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'li***

<b>Gaz</b>	<i>T=0°S va P=0,1 Pa (7,5·10<sup>-4</sup> mm. sim. ust.)</i>	<i>T=0°S va P=133 Pa (1 mm. sim. ust.)</i>	<i>T=25°S va P=133 Pa (1 mm. sim. ust.)</i>	<i>T=0°S va P=101325 Pa (760 mm. sim. ust.)</i>	<i>T=25°S va P=101325 Pa (760 mm. sim. ust.)</i>
	<i>l, mkm</i>				
Azot	6070	48,0	50,7	0,063	0,067
Argon	6440	47,1	53,1	0,062	0,067
Vodorod	11380	83,9	93,1	0,110	0,123
Havo	6170	45,4	50,9	0,060	0,067
Geliy	18200	133,2	147,2	0,175	0,194
Kislorod	6560	48,1	54,0	0,063	0,071
Kripton	4900	36,9	40,9	0,048	0,053
Ksenon	3500	26,4	29,8	0,035	0,039
Neon	12600	94,4	104,5	0,124	0,138
Uglerod oksidi (IV)	-	29,5	33,4	0,039	0,044

***Real gazlar uchun a va b fizik doimiyliklarning qiymatlari***

<b>Modda (gaz)</b>	<b><i>a·10<sup>-5</sup>, N·m<sup>4</sup>/kmol<sup>2</sup></i></b>	<b><i>b·10<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/kmol</i></b>
Suv bug'i	5,56	3,06
Karbonat angidrid	3,64	4,26
Kislorod	1,36	3,16
Argon	1,36	3,22
Azot	1,36	3,85
Vodorod	2,44·10 <sup>-1</sup>	2,63
Geliy	3,43·10 <sup>-2</sup>	2,34

**Yer sathidan turli balandliklarda havo molekulalarining erkin yugurish yo'li**

<i>h, m</i>	<i>l, m</i>	<i>h, m</i>	<i>l, m</i>	<i>h, m</i>	<i>l, m</i>
0	$6,633 \cdot 10^{-8}$	1000	$7,309 \cdot 10^{-8}$	30000	$4,413 \cdot 10^{-6}$
50	$6,665 \cdot 10^{-8}$	2000	$8,072 \cdot 10^{-8}$	40000	$2,034 \cdot 10^{-5}$
100	$6,697 \cdot 10^{-8}$	3000	$8,936 \cdot 10^{-8}$	50000	$7,913 \cdot 10^{-5}$
200	$6,762 \cdot 10^{-8}$	4000	$9,917 \cdot 10^{-8}$	70000	$9,801 \cdot 10^{-4}$
300	$6,827 \cdot 10^{-8}$	5000	$1,103 \cdot 10^{-7}$	90000	$2,377 \cdot 10^{-2}$
400	$6,894 \cdot 10^{-8}$	10000	$1,965 \cdot 10^{-7}$	100000	0,143
500	$6,961 \cdot 10^{-8}$	20000	$9,139 \cdot 10^{-7}$	120000	2,925

**Atmosfera havosining tarkibi**

<i>Gaz nomi</i>	<i>Hajmi, %</i>	<i>Og'irligi, %</i>	<i>Gaz nomi</i>	<i>Hajmi, %</i>	<i>Og'irligi, %</i>
Azot	78,09	75,5	Ksenon	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Kislorod	20,95	23,1	Radon	$6 \cdot 10^{-18}$	-
Argon	0,9325	1,286	Karbonat anhidrid	0,030	0,046
Neon	0,0018	0,0012	Vodorod	$5 \cdot 10^{-5}$	-
Geliy	0,0005	0,00007	Ozon	$1 \cdot 10^{-6}$	-
Kripton	0,000108	0,0003			

**Ba'zi bir gazlarning nisbiy molekulyar massalari**

<i>Gaz</i>	<i>M<sub>r</sub></i>	<i>Gaz</i>	<i>M<sub>r</sub></i>
Azot N <sub>2</sub>	28,013	Ozon O <sub>3</sub>	47,998
Ammiak NH <sub>3</sub>	17,03	Azot oksidi (I) N <sub>2</sub> O	44,01
Argon Ar	39,948	Azot oksidi (II) NO	30,01
Atsetilen C <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	26,04	Oltinugurt oksidi (VI) SO <sub>2</sub>	64,06
Vodorod H <sub>2</sub>	0159	Uglerod oksidi (II) CO	28,01
Havo	28,96	Uglerod oksidi (IV) CO <sub>2</sub>	44,01
Geliy He	4,0026	Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,10
Kislorod O <sub>2</sub>	31,999	Vodorod sulfid H <sub>2</sub> S	34,08
Kripton Kr	83,80	Ftor F <sub>2</sub>	37,997
Ksenon Xe	131,30	Xlor Cl <sub>2</sub>	70,906
Metan CH <sub>4</sub>	16,04	Etan C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	30,07
Neon Ne	20,183	Etilen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,05

**Ba'zi moddalarning zichliklar ( $\text{kg/m}^3$ )**

<b>Gazlar (<math>0^0\text{S}</math> harorat normal atmosfera bosimida)</b>			
Vodorod	0,08988	Kislorod	1,429
Havo	1,293	Karbonat angidrid	1,977
<b>Suyuqliklar</b>			
Benzol	880	Kerosin	800
Suv (+4)	1000	Qon	1050
Gliserin	1200	Simob	13600
Oltin	17200	Kumish	9300
Kanakunjut moyi	950	Spirt	790
<b>Qattiq jismlar</b>			
Alyuminiy	2600	Qalay	7100
Temir	7900	Platina	21400
Oltin	19300	Po'kak	200
Osh tuzi	2200	Qo'rg'oshin	11300
Jez	8400	Kumush	10500
Muz	900	Po'lat	7700
Mis	8600	Shisha	2700
Nikel	8800		

**Kengayish koeffitsiyentlari ( $\text{K}^{-1}$ )**

<b>Chiziqli kengayish (uzayish)</b>			
Alyuminiy	$2,4 \cdot 10^{-5}$	Mis	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Temir	$1,3 \cdot 10^{-5}$	Shisha	$1 \cdot 10^{-5}$
Jez	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Rux	$2,9 \cdot 10^{-5}$
<b>Hajmiy kyengayish</b>			
Suv ( $5-10^0\text{C}$ )	0,000053	Suv ( $40-60^0\text{C}$ )	0,000458
Suv ( $10-20^0\text{C}$ )	0,000150	Suv ( $60-80^0\text{C}$ )	0,000587
Suv ( $20-40^0\text{C}$ )	0,000302	Simob ( $18^0\text{C}$ )	0,00019

**Solishtirma issiqlik sig'imi**

<b>Qattiq jismlar va suyuqliklar</b>			
<b>Modda</b>	<b>Solishtirma issiqlik sig'imi <math>\text{J/kg.K}</math></b>	<b>Modda</b>	<b>Solishtirma issiqlik sig'imi <math>\text{J/kg.K}</math></b>

Alyuminiy	896	Muz	2100
Benzin (50 <sup>0</sup> C)	2095	Transformator moyi (20 <sup>0</sup> C)	1800
Vismut	130	Mis	395
Suv (20 <sup>0</sup> C)	4190	Simob	238
Volfram	295	Qo'rg'oshin	131
Temir (po'lat)	460	Spirt	2510
Jez	386		

***Suyuqlik, gaz va bug'larning qovushqoqligi***

<i>Modda</i>	<i>Harorat, °S</i>	<i>Qovushqoqlik, mkPa, s</i>	<i>Modda</i>	<i>Harorat, °S</i>	<i>Qovushqoqlik, mkPa.s</i>
Azot	0	16,7	Suv bug'i	0	8,7
Suv	20	1004	Karbonat angidrid	0	13,7
Havo	21,6	18,4	Kislorod	0	19,9
Geliy	0	18,6	Xlor	0	12,9

***Suyuqliklarning 20<sup>0</sup>S haroratdagi sirt tarangliklari***

<i>Modda</i>	<i>Sirt taranglik, mN/m</i>	<i>Modda</i>	<i>Sirt taranglik, mN/m</i>
Anilin	43	Kanakunjut moyi	33
Benzol	30	Kerosin	30
Suv	73	Sovunli suv	45
Suv (70 <sup>0</sup> S)	64	Simob	500
Glitserin	64	Kumush (erish.t. 960 <sup>0</sup> S)	780
Oltin (erish 1070 <sup>0</sup> S)	610	Spirt	22

***Turli haroratlarda havo bilan chegarada suvning sirt tarangligi***

<i>Harorat, °S</i>	<i>Sirt taranglik, mN/m</i>	<i>Harorat, °S</i>	<i>Sirt taranglik, mN/m</i>	<i>Harorat, °S</i>	<i>Sirt taranglik, mN/m</i>
0	75,62	15	73,48	24	72,12

5	74,90	16	73,34	25	71,96
6	74,76	17	73,20	30	71,15
8	74,48	18	73,05	40	69,55
10	74,20	19	72,89	50	67,90
11	74,07	20	72,75	60	66,17
12	73,92	21	72,60	70	64,41
13	73,78	22	72,44	80	62,60
14	73,64	23	72,28	90	60,74
				100	58,84

*To'yingan suv bug'ining bosimi va zichligi*

$T, ^\circ S$	$p, Pa$	$\rho, g/m^3$	$T, ^\circ S$	$p, Pa$	$\rho, g/m^3$
-30	37,3	0,33	12	1402,3	10,7
-29	41,3	0,37	13	1519,6	11,4
-28	46,7	0,41	14	1598,3	12,1
-27	50,7	0,46	15	1704,9	12,8
-26	57,3	0,51	16	1816,9	13,6
-25	62,7	0,55	17	1936,8	14,5
-24	69,3	0,66	18	2063,5	15,4
-23	77,3	0,68	19	2196,8	16,3
-22	85,3	0,73	20	2338,1	17,3
-21	93,3	0,80	21	2486,0	18,3
-20	102,6	0,85	22	2643,3	19,4
-19	113,3	0,96	23	2808,6	20,6
-18	125,3	1,05	24	2983,3	21,8
-17	137,3	1,15	25	3167,2	23,0
-16	150,6	1,27	26	3360,5	24,4
-15	165,3	1,38	27	3567,1	25,8
-14	181,3	1,51	28	3779,1	27,2
-13	198,6	1,65	29	4004,3	28,7
-12	217,3	1,80	30	4241,6	30,3
-11	237,3	1,96	31	4603,2	31,9
-10	259,9	2,14	32	4753,6	33,9
-9	283,9	2,33	33	5029,4	36,7
-8	337,2	2,54	34	5316,7	37,6
-7	351,9	2,76	35	5622,6	39,6
-6	367,9	2,99	36	5939,8	41,8

-5	401,2	3,24	37	6274,4	44,0
-4	437,2	3,51	38	6623,7	46,3
-3	457,9	3,81	39	6990,3	48,7
-2	517,2	4,13	40	7374,2	51,2
-1	562,5	4,47	45	9581,6	65,4
0	610,5	4,84	50	12330,3	83,0
1	656,5	5,22	55	15729,4	104,3
2	758,4	5,60	60	19915,0	130
3	797,3	5,98	65	24993,8	161
4	812,1	6,40	70	31152,2	198
5	871,1	6,84	75	38577,0	242
6	934,4	7,3	80	47334,8	293
7	1001,1	7,8	85	57798,9	354
8	1073,1	8,3	90	70089,1	424
9	1147,7	9,4	95	84498,9	505
10	1227,7	9,4	100	101303,0	598
11	1300,7	10,0			

***Havoda har xil haroratlarda suv bug'i namligi va elastikligining maksimal qiymatlari***

<b><i>Harorat, °S</i></b>	<b><i>Suv bug'i elastikligi, mm.sim.ust.</i></b>	<b><i>Suv bug'i bo'lishining kritik qiymati, g/m<sup>3</sup></i></b>	<b><i>Harorat, °S</i></b>	<b><i>Suv bug'i elastikligi, mm.sim.ust.</i></b>	<b><i>Suv bug'i bo'lishining kritik qiymati, g/m<sup>3</sup></i></b>
-10	2	2,15	40	55,32	50,6
-5	3	3,24	50	92,61	89,5
0	4,6	4,84	60	149,2	131,3
5	6,54	6,8	70	233,5	200
10	9,21	9,4	80	355,1	295
15	12,80	12,8	90	525	425
20	17,54	17,3	100	730	600
30	31,80	28,9			

***Turli moddalaning kritik parametrlari***

<b><i>Modda</i></b>	<b><i>Harorat, °S</i></b>	<b><i>Bosim, MPa</i></b>	<b><i>Zichlik, kg/m<sup>3</sup></i></b>
---------------------	---------------------------	--------------------------	---



Azot	-147,1	3,39	311
Ammiak	132,4	11,30	235
Anilin	426	5,31	314
Argon	-122,4	4,86	531
Atseton	235,5	4,72	273
Brom	311	10,33	1180
Suv	374,15	22,13	320
Vodorod	-239,9	1,29	31
Havo	-140,7	3,77	350
Geliy	-267,9	0,23	69,3
Kislorod	-118,8	5,04	430
Kripton	-63,8	5,49	909
Ksenon	16,6	5,89	1150
Metan	-82,5	4,63	162
Neon	-228,7	2,73	484
Simob	1460	10,49	5000
Oltingugurt	1040	11,75	403

*Suvning turli bosimlarda qaynash harorati*

<i>P, MPa</i>	<i>t, °S</i>	<i>P, MPa</i>	<i>t, °S</i>	<i>P, MPa</i>	<i>t, °S</i>
0,1	99,7	1,1	183,8	2,5	224
0,2	120,3	1,2	187,8	3	236
0,3	133,4	1,3	191,5	3,5	244
0,4	143,5	1,4	195	4	252
0,5	151,7	1,5	198,2	4,5	259
0,6	158,7	1,6	201,3	5	266
0,7	164,8	1,7	204,2	5,5	272
0,8	170,8	1,8	207	6	277
0,9	175,2	1,9	210,2	6,5	283
1	179,7	2,0	212,3	7	288

*Normal atmosfera bosimida ayrim kimyoviy elementlarning qaynash harorati*

<i>Kimyoviy element</i>	<i>t, °S</i>	<i>Kimyoviy element</i>	<i>t, °S</i>	<i>Kimyoviy element</i>	<i>t, °S</i>
Azot	-195,8	Germaniy	2847	Kripton	-152,3

Alyuminiy	2520	Temir	2650	Ksenon	-107,1
Argon	-185,9	Oltin	2947	Litiy	1337
Bor	3780	Yod	184,35	Magniy	1105
Brom	58,78	Iridiy	4380	Marganets	1962
Vanadiy	3400	Kaliy	760	Mis	2540
Vismut	1552	Kalsiy	1484	Molibden	4600
Vodorod	-252,77	Kislorod	-182,962	Natriy	882,9
Volfram	5680	Kobalt	2960	Neon	-246
Geliy	-268,93	Kremniy	3250	Nikel	2732

***Moddalarning issiqlik o'tkazuvchanligi***

<i>Modda</i>	<i>Issiqlik o'tkazuvchanlik, Vt/(m.K)</i>	<i>Modda</i>	<i>Issiqlik o'tkazuvchanlik, Vt/(m.K)</i>
Alyuminiy	205	Mis	390
Argon	0,16	Qozon quyqumi	2,3
Asbest	0,14	Po'kak	0,035
Vismut	10	Qurum	0,25
Suv	0,58	Qo'rg'oshin	34,8
Havo	0,026	Smola	0,52
Yog'och (tolaga ko'ndalang)	0,17	Shisha	0,74
Temir (po'lat)	62	Ebonit	0,16
G'ishtli devor	0,84		

***Ba'zi bir qattiq jismlarning elastiklik xossalari***

<i>Modda</i>	<i>Mustahkamlik chegarasi</i>	<i>Yung moduli</i>
	<i>N/m</i>	<i>N/m<sup>2</sup></i>
Alyuminiy	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Temir	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Mis	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Qo'rg'oshin	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Kumush	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Po'lat	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

*Ayrim moddalar uchun uchlanma nuqta*

<i>Modda</i>	<i>Uchlanma nuqta harorati, °S</i>	<i>Uchlanma nuqtada to'yingan bug' bosimi, Pa</i>
Azot	-210	12532
Ammiak	-77,73	6080
Atsetilen	-81	128250
Atseton	-94,3	2,1
Suv	0,01	610
Vodorod	-259,2	7200
Kislorod	-218,79	146,7
Kripton	-157,38	73060
Metan	-182,49	11666
Neon	-248,61	43300
Uglerod II oksid	-205,06	15370
Uglerod IV oksid	-56,60	51,740
Xlor	-100,99	1467
Ftor	-219,67	253
Etil efiri	-110,3	0,83

*Fizik kattaliklar va ularni o'lchovchi asboblar*

<i>Fizik kattalikning nomi</i>	<i>Fizik kattalikni o'lchovchi asbobning nomi</i>
Massa	Tarozi
Zichlik	Areometr
Kuch, og'irlik	Dinamometr
Uzunlik	Chizg'ich, shtangensirkul, mikrometr
Burchak	Transportir, uglomer
Bosim	Manometr, barometr
Atmosfera bosimi	Vakuummotr
Energiya	Kalorimetr
Harorat	Termometr
Hajm (gaz)	Gazomer
Hajm (suyuqlik)	Vodomer

## **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. J.Kamolov, A.G'.Rasulmuxamedov, B.F.Izbosarov, I.Ismoilov. Umumiy fizika kursi. Toshkent O'qituvchi 1992.
2. A.N.Matveyev. Molekulyar fizika. Moskva Bisshaya shkola 1987.
3. D. V. Sivuxin. «Umumiy fizika kursi» «Termodinamika va molekulyar fizika» 1984.
- 4 M. Ismoilov. P. Habibullayev, M. Xaliulin. «Fizika kursi» Toshkent 2000.
5. E.A. Detlaf. B. M. Yavorskiy. «Fizika kursi» Moskva. 1989.
6. Zisman.O.M. Todes.M.. « Umumiy fizika kursi» «Nauka».1965g.
7. D.V.Sivuxin. «Obshiy kurs fiziki» I t. Moskva. Nauka. 1977.
8. R.V.Telesnin, V.F.Yakovlev «Kurs fiziki» Molekulyarnaya fizika. Moskva. Prosvesheniye. 1970.
9. I.V.Savelev «Umumiy fizika kursi» I t. Toshkent. O'qituvchi. 1973.
10. V.S.Volkenshteyn «Umumiy fizika» kursi bo'yicha masalalar to'plami. Toshkent. O'qituvchi. 1981.
11. A.Detlaf. B.Yavorskiy «Spravochnik po fizike». Moskva. Nauka. 1985.
12. N.I.Goldfarb «Sbornik voprosov i zadach po fizike». Moskva. Visshaya shkola. 1983/
13. N.I.Goldfarb «Fizikadan savol va masalalar to'plami». Toshkent. O'qituvchi. 1973.
14. D.I.Saxarov «Sbornik zadach po fizike». Moskva. Prosvesheniye. 1965.
15. X.Kuxling «Spravochnik po fizike». Moskva. Mir. 1983.
16. M.Ismoilov, M.S.Yunusov «Elementar fizika kursi». Toshkent. O'qituvchi. 1989.
17. «Yosh fizik» ensiklopedik lug'ati. Toshkent. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi. 1989.
18. B.F.Izbosarov «Elektr kursidan uslubiy qo'llanma». Navoiy. 2002.
19. R.A.Gladkova «Fizikadan savol va masalalar to'plami». Toshkent. O'qituvchi. 1983.
20. O.F.Kabardin «Fizika». Moskva. Prosvesheniye. 1981.
21. A.I.Bolsun, B.K.Galyakevich «Fizika». Moskva. Ayris Rolf. 1999.
22. K.A.Putilov «Kurs fiziki». I tom. Moskva. Fizika-matematicheskaya literatura. 1963.
23. S.E.Frish, A.V.Timoreva «Umumiy fizika kursi». I tom. Toshkent. O'qituvchi. 1972.

24. B.F.Izbosarov, I.I.Ismoilov, J.A.Toshxonova, B.K.Habibullayev, M.X.O'lmasova, A.Egamberdiyev. Fizikadan laboratoriya praktikumi,1-qism. ToshDPU. 1988.
25. A.A.Axmedov, I.R.Kamolov «Fizikadan ma'lumotnoma». Navoiy. 2005.
26. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi V,VI VII tom. Toshkent. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi davlat ilmiy nashriyoti. 2004.
27. A.G.G'aniyev, A.K.Avliyoqulov, G.A.Almardonova "Fizika". I qism. Toshkent. O'qituvchi. 2002.
28. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov "Magnetizm". Aloqachi nashriyoti. Toshkent. 2006.
29. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Fizika kursi. Toshkent. Iqtisod-Moliya. 2006.
30. Sovremennaya, universalnaya ensiklopediya shkolnika. Moskva "BAO Press" 2005.
31. Spavochnik shkolnika. Bishkek 2000.
32. A.V.Metelskiy. "Kimyo". Samarqand DU 2006 yil.
33. B.F.Izbosarov, A.K.Qutbedinov. Termodinamika asoslari. Navoiy. 2004 yil.