

22.36

24

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov

MOLEKULAR FIZIKA



24,0

53
1-27

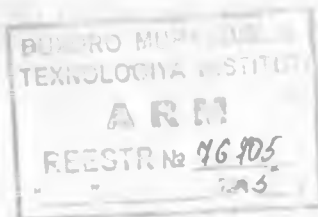
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov

MOLEKULAR FIZIKA



TOSHKENT
«TURON-IQBOL»
2010



da"
alar
olib
uri,
'rta
sus.
ilan

shi,
gan
alar

iasi
olib,
cha
jiya
gini
bir
aqil
lar,
nda
lari
aqil

losh
Oliy
lagi
gan

quv
hda

iya"
biyi

flar

22.36

I-27

Taqrizchilar:

P. X. Musayev, f.-m.f.d, professor.

O'. D. Sherqulov, f.-m.f.n.

A.A.Axmedov, f.-m.f.n.

E.Xudoyberdiyev, f.-m.f.n.

Izbosarov, B. F.

I-27 Molekular fizika: Oliy o'quv yurtlari talabalri uchun darslik B. F. Izbosarov, I. R. Kamolov. – T.: «Turon-Iqbol», 2010, 408 b.

I. Kamolov, I. R.

BBK 22.36ya73

Mazkur darslikda "Molekular fizika" fani bo'yicha to'liq nazariy ma'lumotlar berilgan bo'lib, unda mavzularga oid masalalar yechish namunalari, mustaqil yechish uchun masalalar, har bir mavzu uchun tayanch ibora (kalit so'z)lar, talabalar mustaqil ta'limi uchun namunalar va 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.

ISBN 978-9943-14-132-2

© «Turon-Iqbol», 2010-y.

SO'Z BOSHI

E'tiboringizga havola etilayotgan ushbu darslik "Ta'lim to'g'risida" gi Qonun, "Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi" da ko'zda tutilgan vazifalar asosida ta'lim sohasida amalga oshirilayotgan islohotlarni e'tiborga olib hamda "Molekular fizika" fanidan tasdiqlangan namunaviy o'quv dasturi, "Davlat ta'lim standartlari" va O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2006-yil 30-noyabrda "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 to'laligicha hisobga olingan.

Mualliflar tomonidan "Molekular fizika" fanidan o'quv qo'llanmasi yaratilgan va hozirgi kunda unga bo'lgan talab ortganligini e'tiborga olib, ushbu fandan darslik yaratilishini taqozo etdi. Ushbu darslikda qo'shimcha mavzular kiritilib, mavzularni yoritishda pedagogik texnologiya elementlaridan yanada kengroq foydalanildi. Darslikning samaradorligini oshirish maqsadida har bir mavzuga oid tayanch iboralar, har bir bo'limdan so'ng mavzularga oid masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalar, jadvallar, ko'plab tasviriy vositalar (sxemalar, rasmlar) va talabaning o'z-o'zini nazorat qilishi uchun testlar hamda krossvordlarga keng o'rin berilgan bo'lib, yangi avlod o'quv adabiyotlari talablari darajasida yozilgan. Darslik yakunida talabalarning mustaqil ta'limini shakllantirish, tashkil etish uchun namunalar berilgan.

Darslik to'qqiz bo'limdan iborat bo'lib, mavjud bo'lgan turdosh darslik va o'quv qo'llanmalardan 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 va kengaytirilgan mavzular, ilovalar bilan boyitilgan.

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

MOLEKULAR-KINETIK NAZARIYA ASOSLARI

Molekular fizika predmeti. Molekular-kinetik nazariya asoslari

Biz hozir moddalar har doim tartibsiz issiqlik harakatida bo'luvchi mayda-mayda zarrachalardan iboratligini bilamiz. Moddalar tuzilishining shunday nazariyasi *molekular-kinetik nazariya* deb ataladi. Shunday tushunchlarga asoslanib, moddalarning tuzilishi va xossalarini o'rganuvchi fizikaning bo'limi *molekular fizika* deyiladi. Hozirgi aniq hisoblashlar har bir santimetr kub havoda $2,77 \cdot 10^{19}$ ta molekular borligini va ular har bir sekunda 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. Molekular fizikaga oid izlanishlarda ikkala usul ham keng qo'llaniladi va bir-birini to'ldiradi. Molekular kinetik nazariyani rivojlanishiga ko'plab olimlar o'z hissalarini qo'shganlar. Masalan, Joul, Klauzius, Maksvell, Bolsman, Lomshmidt, Avogadro, Lomonosov va boshqalar. Qadimgi zamon filosoflari ham issiqlik jism tarkibidagi zarralar ichki harakatining 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 isbotlagan.

Biroq molekular kinetik nazariyasini yaratishda ko'p sondagi zarralar bilan ish olib borildi va natijada XX asr boshiga kelib molekular kinetik nazariya (MKN) haqida asosiy xulosalari yaratildi:

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

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

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

Molekula – muayyan moddaning barcha kimyoviy xossalariga 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.

$$A_r = \frac{m_r}{\frac{1}{12} \cdot m_{12}C}$$

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 ifodalanadi.

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

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 molar massa deyiladi.

$$M_r = m_0 N_A$$

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.

Tayanch iboralar (kalit soʻzlar): molekular kinetik nazariya (MKN), molekular fizika, statistik usul, termodinamik usul, Lomonosov, atom, molekula, nisbiy atom massa, Avogadro soni, modda miqdori

Harorat

Harorat molekular fizikada asosiy tushunchalardan biridir. Harorat murakkab tushuncha boʻlib, uni tushuntirishda bir qator eksperimental aniqliklarni bilish zarur. Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasidan

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

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

Agar $V = \text{const}$ boʻlsa, unda gaz bosimi faqat molekulalarning oʻrtacha kinetik energiyasiga bogʻliq boʻladi. Tajribalar shuni koʻrsatadiki, oʻzgarmas hajmda gazning bosimi faqat haroratga bogʻliq boʻladi. Har bir gaz esa boshqa jismlar singari oʻzining harorati bilan tavsiflanadi. Demak, harorat va molekulalar oʻrtacha kinetik energiyasi orasida bogʻlanish mavjud. Bu bogʻlanish quyidagicha taʼriflanadi: **harorat – molekulalar xotik harakati oʻrtacha energiyasining oʻlchovidir**. Hayot tajribasi shuni koʻrsatadiki, harorat bizga issiqni sovuqdan va aksincha ajratib turadi yoki boshqacha aytganda, harorat jismning isitilganlik darajasini belgilovchi termodinamik kattalikdir. Yuqoriroq haroratga ega jismlar qizigan boʻladi. Haroratni sezgi organlarimiz orqali ham sezish mumkin: 3 ta idish olib, ularning binga issiq suv, ikkinchisiga sovuq suv va uchinchisiga ular aralashmasini solamiz. Keyin bir qoʻlimizni issiq, ikkinchi qoʻlimizni sovuq suvga solamiz va shunda sezgilarimiz orqali birinchi issiq, ikkinchisi sovuq deb aytamiz. Agar qoʻlimizni suvda uzoqroq muddat solib tursak, u holda ana shunday sezgi yoʻqoladi va sezgilarimiz bitta yoʻ issiq, yo sovuq haroratni sezdiradi.

Mana shu tajriba koʻrsatadiki, harorat – issiqlik muvozanati holatini tavsiflaydi. Demak, issiqlik harorati yuqoriroq jismdan harorati pastroq jismga oʻz-oʻzicha oʻta oladi. Issiqlik muvozanati holatida harorat har qanday murakkab sistemaning barcha qismlarida tenglashadi. Boshqacha qilib aytganda, issiqlik muvozanati holatida jismlar harorati bir xil boʻladi.

Sharl tomonidan tajribada aniqlangan qonunda doimiy hajm ostida ideal gaz harorati 1°C ga oʻzgarganda, uning bosimi boshlangʻich bosimga

nisbatan $\frac{1}{273}$ qismga o'zgaradi. Bundan xulosa shuki, $-273,16^{\circ}\text{C}$ da ideal gaz bosimi nolga teng bo'lishi kerak. Bu $-273,16^{\circ}\text{C}$ harorat eng past harorat bo'lib, *absolut nol harorat* deyiladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): harorat, gazning bosimi, Shari, absolut nol harorat.

Haroratni o'lchash usullari

Jism haroratining o'zgarishini o'lchash vazifasini unga bog'liq bo'lgan biror bir xossasining 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.

Birinci termometr 1597-yilda italyan olimi Galileo Galiley tomonidan kashf etilgan. Unda termometrik modda, ya'ni suvdan foydalanilgan. Jism haroratini o'lchashda termometr bevosita jismga tekkiziladi. 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°C da eriydi, suv esa 100°C da qaynaydi.

Ba'zi mamlakatlarda (Fransiya) haroratni o'lchashda Reomyur shkalasidan foydalaniladi, unda suvning muzlash va qaynash harorati 0° va 80° olingan (1730-yil).

Angliya va AQSHda Farengeyt shkalasidan foydaniladi, unda muzning erish harorati 32° ni, suvning qaynash harorati esa 212° ni tashkil qiladi.

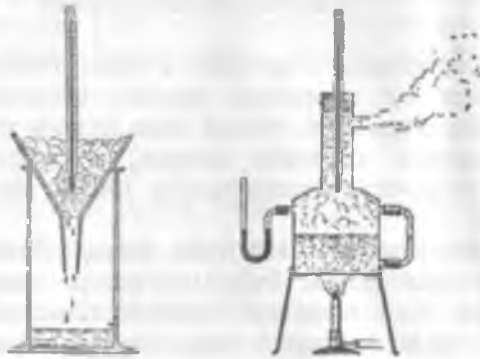
Gradus Farengeytdan gradus Selsiyga va aksincha o'tishda quyidagi formulalardan foydalaniladi.

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

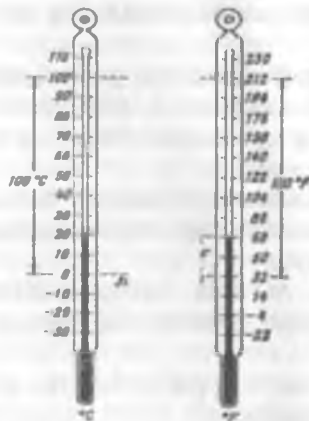
$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

-39°C dan $+550^{\circ}\text{C}$ gacha bo'lgan haroratni o'lchashda shisha termometrardan foydalaniladi, unda termometrik modda sifatida simobdan foydalaniladi.

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



I-rasm. Ko'pchilik termometrik shkalalarda suvning muzlash va qaynash harorati doimiy nuqtalar hisoblanadi.



2-rasm. Farengeyt va Selsiy shkalalarini solishtirish.

Yanada kengroq harorat diapazoni (-200°C dan 1100°C gacha) ni o'lchashda platinali termometrdan, 0°C dan 1700°C gacha haroratni

o'lchashda platina – platina radiyli termoparadan, -200°C dan 1350°C gacha haroratni o'lchashda esa xromal-alyuminiyli termoparadan foydalaniladi.

1.1.jadval

<i>T/r</i>	<i>Haroratlar</i>	<i>T, K</i>	<i>t, °C</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	Aluminiyning erishi	933	660	1220
8	Geliyning qaynashi	4,2	-268,8	-452

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): termometr, birinchi termometr, termometrik modda, Galileo Galiley, Selsiy shkalasi, Farengeyt shkalasi, Reomyur shkalasi, Kelvin shkalasi, termopara.

Gazlar kinetik nazariyasining asosiy holatlari

Gazlarning molekular 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 molekularlar 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.

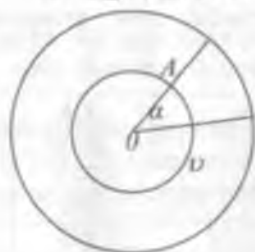
Nyutonning ikkinchi qonuni bo'yicha,

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

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

Agar birlik vaqt ichida idishning birlik yuzasiga kelib unilgan barcha molekular impulsleri 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.

Molekular 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, uhd 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 molekulalar harakatning tartibsizligi Broun harakati bilan isbotlanadi.

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

Molekular 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

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

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): ideal gaz, impuls, Nyutonning II qonuni, molekular kinetik nazariyaning birinchi holati, molekular kinetik nazariyaning ikkinchi holati, molekular kinetik nazariyaning uchinchi holati, molekular o'rtacha tezligi, harorat, molekular o'rtacha kinetik energiyasi, molekula massasi, to'qnashishlar.

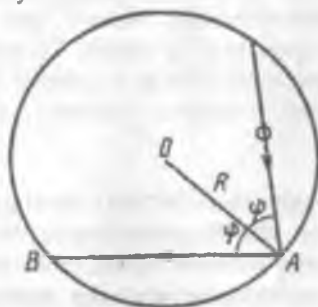
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi

Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi Molekular kinetik nazariya (MKN) ning asosi hisoblanadi: undan gaz qonunlarini chiqarish, molekular energiyasi va harorat orasidagi munosabatni olish mumkin va hokazo.

R radiusli sfera olamiz va undagi molekular soni N' 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 molekular hajmi va molekulararo 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 χ 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 $2mUCos\psi$. Molekulaning bir to'qnashishidan ikkinchi to'qnashishigacha bosib o'tgan yo'li AB ga, ya'ni $2RCos\psi$ 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 molekular 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.

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

$$N = \frac{u}{2R \cos \psi} \quad (1)$$

Bir sekund ichida bitta molekulaning idish devorlariga beradigan umumiy impulsi

$$2m u \cos \psi \frac{u}{2R \cos \psi} = \frac{m u^2}{R} \quad (2)$$

Barcha molekulalarning bir sekunddagi umumiy impulsi

$$F = \frac{1}{R} \sum m u^2 \quad (3)$$

Kuchni yuzaga bo'lib, gazning bosimini topamiz:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{1}{R} \frac{\sum m u^2}{4\pi R^2} = \frac{\frac{1}{3} \sum m u^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{1}{3} \frac{\sum m u^2}{V} \quad (4)$$

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

(4) tenglikni quyidagicha ko'rinishda yozamiz:

$$P V = \frac{1}{3} \sum m u^2 = \frac{2}{3} \sum \frac{m u^2}{2} = \frac{2}{3} \sum E' \quad (5)$$

bu yerda: E' bitta molekulaning kinetik energiyasi.

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

$$PV = \frac{1}{3} m N^1 \frac{\sum v^2}{N^1}$$

yoki

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

bu yerda C – o'rtacha kvadratik tezlik bo'lib

$$C = \sqrt{\frac{\sum v^2}{N^1}} \quad (7)$$

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

$$PV = \frac{2}{3} \frac{N^1 m c^2}{2} = \frac{2}{3} N^1 \cdot \overline{E^1} \quad (8)$$

bu yerda E^1 – bitta molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi.

Gazning umumiy kinetik energiyasi E ni $E = N^1 E^1$ bilan belgilaymiz.

Unda

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

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi, MKN, sfera, molekula soni, molekullarning o'zaro to'qnashishi, ganing bosimi, impuls, molekula tezligi, gazning bosimi, gaz hajmi, o'rtacha kvadratik tezlik.

Asosiy gaz qonunlarini keltirib chiqarish

Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasidan XVIII asrda eksperimental aniqlangan gaz qonunlarini keltirib chiqarish mumkin.

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

$$PV = \text{Const}$$

Dalton qonuni: gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi:

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

dan

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

bu yerda: $n = \frac{N^1}{V}$ – 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.

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

(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 aralashmasining 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

$$PV_1 = \frac{2}{3} N^1 \cdot \frac{mc_1^2}{2} = \frac{2}{3} N^1 \frac{ma^2 T_1}{2} \quad (5)$$

$$PV_2 = \frac{2}{3} N^1 \cdot \frac{mc_2^2}{2} = \frac{2}{3} N^1 \frac{ma^2 T_2}{2} \quad (6)$$

bu yerda: $c^2 = a^2 T$ ga almashtirilgan va a – mutanosiblik koeffitsiyenti. (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 absolut 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 absolut haroratga bog'liq.*

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

$$P_1 V_1 = \frac{1}{3} N_1 m \bar{c}_1^2 T_1 \quad (11)$$

$$P_2 V_2 = \frac{1}{3} N_2 m \bar{c}_2^2 T_2 \quad (12)$$

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:

$$PV = \frac{2}{3} N_1 \frac{m_1 \bar{c}_1^2}{2} \quad (14)$$

Ikkinchi gaz uchun

$$PV = \frac{2}{3} N_2 \frac{m_2 \bar{c}_2^2}{2} \quad (15)$$

(14) va (15) ifodalarning o'ng tomoni tenglashtirilib va qiymat koeffitsiyentlarini 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_A ga teng. $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ ta molekula.

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Boyle-Mariott qonuni, Dalton qonuni, Gey Lyussak qonuni, Sharl qonuni, Mariott-Gey Lyussak qonuni, Avogadro qonuni, absolut harorat, o'zgarmas massali gaz, molekulalar kinetik energiyasi, bir xil harorat, bir xil bosim, bir xil hajm, molekulalar soni, Avogadro soni.

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 ($T=0^{\circ}\text{C}$, $P=10^5\text{ Pa}$)

$$\frac{PV_1}{T_1} = \frac{PV_2}{T_2}$$

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

$$\frac{PV}{T} = \frac{PV_0}{T_0} \quad (1)$$

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.

$$\frac{PV_1}{T} = \frac{P_2V_2}{T_1}$$

bu tenglama bir mol gaz uchun yozilgan.

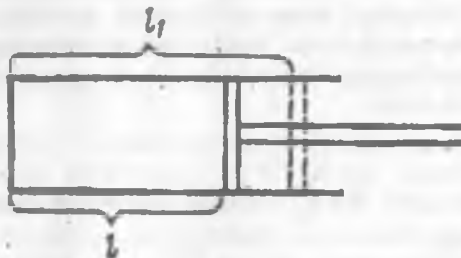
Normal sharoitda har qanday gazning bir moli 22,4 litr hajmni egallaydi, u holda $\frac{PV_1}{T_1}$ tenglama qismi hamma gazlar uchun universal doimiylik bo'ladi, u holda (2) tenglamani quyidagicha yozamiz.

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

Molekular og'irligi M , mollar soni $\frac{m}{M}$ bo'lgan m massali gaz qaralayotgan bo'lsa, Mendeleyev-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.

Gazni 1°C ga isitamiz, ya'ni $(T+1)^\circ$ harorat hosil qilamiz. Porshen erkin harakatlangani 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 1°C ga ko'targanda bajarilgan ishga teng ekan.*

Xalqaro birliklar sistemasida R universal gaz doimiysining son qiymatlarini topamiz.

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

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

yoki bir mol gaz uchun

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

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 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 molekular og'irligi noma'lum bo'ladi. Bunday hollarda molekular og'irlikni zichlik orqali topish mumkin. Bunday masalalar yechimini topishda Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan foydalanib, gaz doimiysini hisoblashda molekular 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

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

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

Yo o'miga $\frac{1}{\rho}$ solishtirma hajmni, ya'ni bir kilogramm havo egallagan hajmni olamiz. Son qiymatlarni qo'yib, quyidagini olamiz:

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

Bu bir kilogramm havo uchun gaz doimiysining qiymati.

Havoga nisbatan boshqa ρ 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 ρ zichlikka ega bo'lgan istalgan gaz uchun Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi:

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): gaz holati, hajm, bosim, harorat, holat tenglamasi, Klapeyron tenglamasi, Mendeleyev tenglamasi, Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi, Universal gaz doimiysi, gaz kengayishidagi ish, normal sharoit.

Molekular kinetik nazariyaning tajribaviy asoslari

Tabiatdagi moddalar qattiq, suyuq holatda bo'lishi ularni bir jinsli, - deb qarash imkonini beradi. Chunki moddalar deyarli oddiy sharoitda 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 kelib 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 *molekular-kinetik nazariya* deyildi. Shuning uchun ularning harakati tufayli hosil boluvchi fizik kattaliklarni molekular kinetik nazariya asosida o'rganamiz. Avval bu nazariyaning tajribaviy asoslarini ko'rib chiqaylik. Ular quyidagilardan iborat:

1) Gazlarning siqilish xossasiga egaligi uni tashkil etuvchi molekular 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 molekularlari orasidagi bo'shliqning mavjud ekanligidan dalolat beradi.

3) Modda molekularlari 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.

Molekular kinetik nazariyani asoslash uchun biz misol tariqasida Broun harakatini qarab chiqamiz.

Broun suyuqlikda muallaq turgan juda mayda zarrlarning mikroskop ostida tartibsiz harakatini kuzatgan va zarrlarning 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.



5-rasm. Broun harakati.

Broun zarralar harakatini mikroskopda kuzatganda kuzatish vaqtini ko'p yoki kamligiga qarab, ularning izi turli siniq chiziqlardan iborat ekanligini aniqlagan. Uning izi 5-rasmida 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 nuqtalarda zarralar to'qnashib, oz'larining harakat yo'nalishlarini o'zgartiradi. Broun harakati siyraklashtirilgan gazlarda (tutun kiritish bilan) ham kuzatiladi.

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 unilishi 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 ilgari lanma harakatda bo'aldi. Shu bilan bir vaqtda tebranma hamda aylanma harakatlarda ham bo'ladi. Ikkita yonma-yon turgan zarrani olsak, ular bir-biriga 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*

chegasini aniqlashda asosiy rol o'ynaydi. Chunki bu asboblarning atrofida Broun harakatidagi havo molekulalari ham doimo mavjuddir.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): modda, Demokrit, atomistik gipoteza, atom, molekula, MKN, diffuziya, Broun harakati, Eynshteyn, Smoluxovskiy, Perren, Avogadro.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha (Maksvell) taqsimoti

Biz gazlar molekular-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

$$v = \sqrt{\frac{8kT}{m \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{8RT}{\mu \cdot \pi}}$$

va eng katta ehtimolli tezlik

$$v_0 = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

bilan harakatlanishi aniqlangan.

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

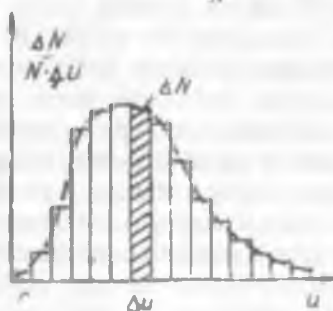
O'zining tezliklar taqsimoti qonunini esa nisbiy tezlik asosida keltirib chiqargan. **Nisbiy tezlik deb molekulaning harakat tezligini eng katta ehtimolli tezlikka bo'lgan nishatiga aytiladi.**

$$u = \frac{v}{v_0}$$

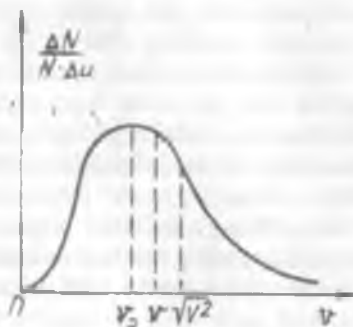
Bu vaqtda tezlik intervali $u+\Delta u$ nisbiy tezliklar intervali bilan almashib, bu intervalda harakatlanuvchi molekulalar soni

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

orqali ifodalaniлади. 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 molekulalarni 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 molekulalar soni (N) ni ifodalaydi. Shtrixlangan yuza Δu nisbiy tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar nisbiy soni $\frac{\Delta N}{N}$ ni ifodalaydi.



6-rasm.



7-rasm.

Biz yuqorida ko'rib o'tgan gaz molekulalarining:

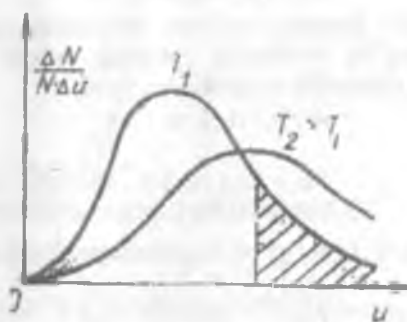
$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1,73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

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

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

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 molekulalar sonini qaraganimizda, eng ko'p molekulalar 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Maksvellning tezliklar taqsimoti qonuni, o'rtacha arifmetik tezlik, nisbiy tezlik, o'rtacha kvadratik tezlik, o'rtacha ehtimollik tezlik, harorat.

Maksvellning taqsimot qonunini keltirib chiqarish

Molekulalar tezligi v ni koordinata o'qlari komponentlari orqali ifodalaymiz:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad (1)$$

v_x dan $v_x + dv_x$ gacha oraliqda yotgan v_x tezlik komponenti qiymatini olgan molekular soni

$$N \cdot f(v_x) dv_x \quad (2)$$

$f(v_x)$ kattalik izlanayotgan taqsimot funksiyasini ifodalaydi. $f(v_x) dv_x$ kattalik v_x va $v_x + dv_x$ oraliqda tezlik komponentlarini topish ehtimolligini

beradi. (2) tenglikka o'xshash ifodani u_x va u_z komponentlari uchun ham yozish mumkin, ular u_x ga bog'liq bo'lmaydi. u dan $u+du$ oralig'ida u tezlikni topish ehtimolligi ehtimollar nazariyasi qoidasiga ko'ra bog'liq bo'lmagan tezlik komponentlari ko'paytmasiga teng bo'ladi.

$$f(u_x) \cdot f(u_y) \cdot f(u_z) du_x \cdot du_y \cdot du_z \quad (3)$$

Molekulalar harakati tartibsiz bo'lganligi uchun bu ehtimollik yo'nalishga bog'liq bo'lmaydi, shuning uchun tezlik komponenti o'zgarishi bilan ehtimollik o'zgarmaydi, ya'ni

$$d[f(u_x) \cdot f(u_y) \cdot f(u_z)] = 0 \quad (4)$$

bundan,

$$f(u_x) \cdot f(u_y) \cdot f'(u_z) du_z + f(u_x) \cdot f'(u_y) \cdot f(u_z) du_y + f'(u_x) \cdot f(u_y) \cdot f(u_z) du_x = 0 \quad (5)$$

Buni $f(u_x) \cdot f(u_y) \cdot f(u_z)$ ga bo'lib, quyidagigi hosil qilamiz:

$$\frac{f'(u_z)}{f(u_z)} du_z + \frac{f'(u_y)}{f(u_y)} du_y + \frac{f'(u_x)}{f(u_x)} du_x = 0 \quad (6)$$

u_x, u_y, u_z tezlik komponentlarining o'zgarishi bilan Maksvelлча taqsimotda u tezlikning qiymati o'zgarmaydi. (1) formulani differensiallab quyidagini hosil qilamiz:

$$u_x du_x + u_y du_y + u_z du_z = 0 \quad (7)$$

(7) formulani hozircha noma'lum bo'lgan λ ko'paytmaga ko'paytirib, (6) ga asosan yoyamiz:

$$\left[\frac{f'(u_x)}{f(u_x)} + \lambda u_x \right] du_x + \left[\frac{f'(u_y)}{f(u_y)} + \lambda u_y \right] du_y + \left[\frac{f'(u_z)}{f(u_z)} + \lambda u_z \right] du_z = 0 \quad (8)$$

Olingan bu tenglama kvadrat qavs ichidagi har bir ifoda nolga teng bo'lgan holdagina qanoatlantiradi:

$$\frac{f'(u_x)}{f(u_x)} + \lambda u_x = 0 \quad (9)$$

Integrallash natijasida quyidagini hosil qilamiz:

$$\ln f(u_x) = -\frac{\lambda u_x^2}{2} + \text{const} \quad (10)$$

yoki

$$f(u_x) = C \cdot e^{-\frac{\lambda u_x^2}{2}} \quad (11)$$

$N \int_{-\infty}^{\infty} f(u_x) du_x$ ifodani qaralayotgan gaz hajmidagi umumiy molekularlar soniga teng deb, integrallash doimiysi C ni topamiz. Bunga asosan:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv = c \int_0^{\frac{\lambda v}{2}} e^{-\frac{u}{2}} du = 1 \quad (12)$$

Integrallar jadvaliga asosan quyidagini yozamiz:

$$\int_0^{\frac{\lambda v}{2}} e^{-\frac{u}{2}} du = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda}}$$

Bundan,

$$c = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi}}$$

yoki

$$f(v) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\lambda v}{2}} \quad (13)$$

(3) va (13) formulalarga asosan tezlik ehtimolligi:

$$\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}(\sin^2\theta + \cos^2\theta)} dv = dv \cdot \sin\theta \cdot d\theta \quad (14)$$

Qutb koordinatalariga o'tib quyidagini hosil qilamiz:

$$\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}v^2} v^2 dv \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\psi \quad (15)$$

$v+dv$ oraliqda molekular harakat yo'nalishini e'tiborga olmay, ehtimollik tezlikni topamiz. (15) ifodani ψ bo'yicha 0 dan 2π gacha, θ bo'yicha 0 dan π gacha integrallaymiz:

$$\begin{aligned} \varphi(v)dv &= \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}v^2} v^2 dv \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\psi = \\ &= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}v^2} \cdot v^2 dv \end{aligned} \quad (16)$$

λ ko'paytuvchini odatda molekula olishi mumkin bo'lgan tezlik orqali, ya'ni v_e ehtimollik tezlikni hisoblash orqali topish mumkin.

Bu kattalikni topish uchun $\varphi(v)$ dan v bo'yicha hosila olib, nolga tenglashtirish zarur.

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi(v)}{dv} &= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}v^2} \cdot (2v_e - \lambda v_e^2) = \\ &= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}v_e^2} \cdot v_e (2 - \lambda v_e^2) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Bundan,

$$\lambda = \frac{2}{v_e^2} \quad (18)$$

(18) formulani (13) va (16) formulalarga qo'yib, molekulalar harakat yo'nalishini e'tiborga olgandagi molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimlanish funksiyasi ifodasini olamiz:

$$f(u_x) = \frac{1}{\sqrt{\pi} u_x} \cdot e^{-\frac{u_x^2}{u_x^2}} \quad (19)$$

Molekulalar harakat yo'nalishini e'tiborga olmagan holda esa:

$$\phi(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi} u_x} \cdot e^{-\frac{u^2}{u_x^2}} \cdot u^2 \quad (20)$$

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): molekula tezligi, tezlik komponenti, xotik harakat, harakat yo'nalishi.

Bolsman doimiysi va bitta molekulaning kinetik energiyasi

Bolsman doimiysi $k = \frac{R}{N}$ ga, ya'ni universal gaz doimiysining bir moldagi molekulalar 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

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

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

(1) tenglamadan,

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

Bu molekular 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 molekulalar konsentratsiyasi. (4) tenglama harorat va bosimga asosan molekulalar

sonini yoki molekula soni va haroratga qarab bosimni topishga yordam beradi.

(2) tenglama absolut haroratning molekular-kinetik talqinini yaratishga imkon beradi. Demak absolut 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 molekular 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 taqsimlanishi bilan bog'liq emas. Bundan molekular-kinetik nazariyada absolut haroratning keltirilgan talqini to'liq emas. Molekular-kinetik nazariyada absolut haroratning haqiqiy talqini termodinamikaning ikkinchi qonunida keltiriladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Bolsman doimiysi, molekula energiyasi, bir atomli gaz, ko'p atomli gaz, molekula konsentratsiyasi, past harorat, absolut harorat.

Ehtimollik haqida tushuncha

Tabiatda, texnikada, molekular-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:

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

A) Ehtimolliklarni qo'shish. Yuqorida aytilgan qutichadagi sharlar bilan qilingan tajribaga yana qaytaylik. Agar sharlarning ranglarini ham farqlamasak, u holda tajribada qutidan ixtiyoriy bitta shaming (qaysi shar ekanligidan qat'iy nazar) shaming 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 shaming chiqish ehtimolligi $\frac{1}{40}$ bo'lganligidan oq sharlarning 30 dona ekanligini 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 nechta si 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 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 shami 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 voqega tatbiq qilsak,

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

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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): ehtimollik nazariyasi, chastota, tajriba, ehtimollikni qo'shish, ehtimolliklarni ko'paytirish, voqeaning ro'y berishi, oq shar, voqea ehtimolligi.

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 kubchani 7 raqam yozilgan tomoni yo'q. Bu taqsimlanishni grafik va jadval ko'rinishida ko'rsatish mumkin.

1.2. jadval

Hol	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ehtimollik	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1
	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Jadvaldan ko'rinishida, *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 molekulalarning soni Δn , tezlik intervali Δx ga bog'liq bo'lib, interval qancha katta olinsa, Δn 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 Δn har xil bo'lishi mumkin. Masalan, 300-350 m/s va 215-220 m/s tezlik bilan harakat qilayotgan molekulalar soni interval har ikkala holatda ham o'zaro teng

($\Delta x = 5$ m/s) bo'lishiga qaramay, birlik hajmdagi (shu intervaldagi) molekulalarning soni Δn_1 va Δn_2 lar bir xil bo'lmashligi mumkin, Δn 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*. Δn yana birlik hajmdagi umumiy molekulalarining 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

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

bo'ladi. (4) dan ko'rinish 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 molekulalarning nisbiy sonini ifodalaydi. Agar uzluksiz kattaliklarning normalash shartidan foydalansak, u holda (5) ga asosan

$$\int f(x) dx = \int \frac{dn}{n} = 1 \quad (6)$$

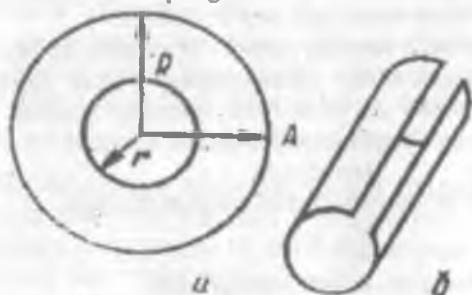
Taqsimot funksiyasi $f(x)$ ma'nosi jihatidan interval kengligi birga teng ($\Delta x = 1$) bo'lgandagi ehtimolligi ($f(x) = \frac{\Delta n}{n}$) ehtimollik zichligini ifodalaydi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): taqsimot funksiyasi, normallash sharti, interval, tasodifiy kattaliklar ehtimolligi, molekula soni, ehtimollik zichligi.

Maksvellning tezliklar taqsimoti qonunini tajribada tekshirish

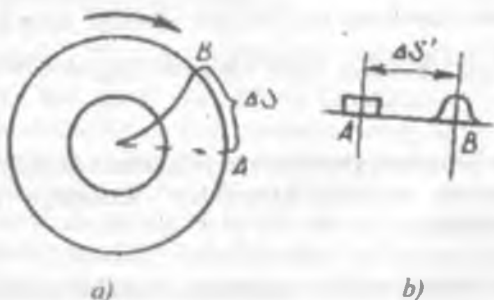
Biz oldingi mavzularda gaz molekulalarining tezliklari bo'yicha qanday taqsimlanishi bilan nazariy jihatdan tanishib chiqdik. Endi shu nazariy hisoblangan molekulalarning tezliklarini tajribada tekshiraylik. Buning uchun *Shtern tajribasi* bilan tanishib chiqaylik. Shtern radiuslari R va r bo'lgan kovak 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^{-4} - 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 ω 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 molekularlar 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 ω burchak tezligi bilan $\varphi = \omega t$ burchakka siljiydi. Bu vaqtda tashqi silindrdagi A nuqta ΔS yoyga siljib ketib, atom B nuqtaga tushadi. Matematikadan ma'lumki, markaziy burchak (φ) qarshisidagi yoy (ΔS) radiusi ($R-r$) bilan shu burchakning ko'paytmasiga teng, ya'ni;

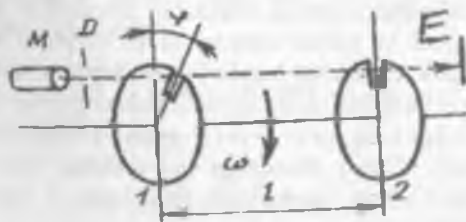
$$\Delta S = (R-r)\Delta\varphi = (R-r)\omega t \quad (2)$$

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 ΔS 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 ΔS masofani B dog'ning qalin joyidan A dog'ning o'rtasigacha o'lchab, (3) formula yordamida tezlik hisobblansa, molekulaning katta ehtimolli tezligi kelib chiqadi.

Shtemdan molekularlarning tezliklarini aniqlash uchun unga nisbatan aniqroq usulni *Lamert* qo'lladi. U molekularlar dastasidan foydalandi. U vakuumda bitta o'qqa bir-birdan l masofada o'rnatilgan ikkita disk oladi (11-rasm). Disklarning ikkulasida bir-biri bilan φ burchak hosil qiluvchi radius bo'yicha tirqish bor. Manba M dan D diagramma orqali birinchi diskdagi tirqishga tushgan molekularlar 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 φ burchakka ω burchak tezlik bilan burilish vaqti $t_2 = \frac{\varphi}{\omega}$ ga teng bo'ladi. Molekulalar o'tishi uchun bu vaqtlar teng bo'lishi kerak. Ularning tengligidan foydalanib tezlikni aniqlasak,

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

kelib chiqadi.

Qurilmada aylanish tezligi ω 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): gaz molekulalari, Shtern tajribasi, Lamert.

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

Molekular-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.

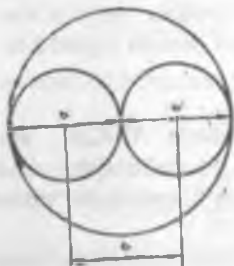
Olingan silindrnig uzunligi molekulaning vaqt birligi ($t=1$ s) da o'tgan masofasiga teng, ya'ni $l=v$ (13-rasm). Bu molekula vaqt birligidagi radiusi molekula effektiv diametriga va l uzunligi v ga son jihatdan teng bo'lgan silindr ichida markazlari joylashgan z dona molekulaning hammasiga tegib o'tadi.

Bu silindr ichidagi molekular 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 molekular har doim xotik 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'larniz, ya'ni:

$$\lambda = \frac{l}{z} = \frac{v}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n v} = \frac{l}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n} = \frac{4T}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 P} \quad (3)$$

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

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

1.3.jadval

T/r	Gazlar	$\mu, 10^3$ kg/mol	$v, m/s$	$v^2, m^2/s$	$\lambda, 10^8$ m	$z, 1 s$ 10^8	$\sigma, 10^{10}$ m
1	Vodorod (H_2)	2	1690	11	15	2,3	1840
2	Geliy (He)	4	1200	18	6,9	1,9	1310
3	Suv bug'i (H_2O)	18	566	4	14	2,6	615

4	Azot (N ₂)	28	454	6,0	7,6	3,1	493
5	Kislorod (O ₂)	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 ₂)	44	362	4	9,1	3,2	393

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): M.K.N., molekularning to'qnashishi, effektiv diametr, molekular konsentratsiyasi, to'qnashishlar soni, erkin yugurish yo'li, molekular massa.

Bolsman taqsimoti. Barometrik formula

Uncha katta bo'lmagan hajmlarda (bir necha m³ da) gazlarning zichligi va birlik hajmidagi molekular soni (konsentratsiya) qaraayotgan fazoda deyarli bir xil bo'ladi. Katta hajmlarda molekularning teng taqsimlanishi og'irlik kuchi ta'sirida buziladi, bunda zichlik ham o'zgaradi.

Ideal gaz tenglamalarini molekular-kinetik nazariyaning asosiy tenglamalari deb qaraganimizda gazga tashqi ta'sir bo'lmagan holdagina gaz molekulari 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 molekularning o'zaro itarishishi kuchi bo'lmaganda, Yer sirtida atmosfera qatlami hois bo'lmas edi. Demak, bu ikkala ta'sirdan ko'rinadiki, Yer sirtidan uzoqlashishiga qarab gaz molekulari quyuqligiga qarab o'zgarib boradi. Yerning tortishish kuchini o'zgarimas deb gaz molekulasini 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 ρ – berilgan h balandlikdagi havo zichligi.

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

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

va

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

$T = \text{const}$ 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:

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

Izotermik atmosfera uchun (4) ni quyidagicha ham yozish mumkin:

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

Bu yerda $C = P_0$ bo'ladi, $h = 0$ da.

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

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

Ikki ta 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:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mu_{zo}^2}{2} - mgh \quad (7)$$

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 molekularlar tezligi u_{zo} dan $u_{zo} + du_{zo}$ gachada $nf(u_{zo})du_{zo}$ ga teng, har sekunda bir sirtini

tashlab ketuvchi molekular soni $v=n_f(v_{zv}) \cdot v_{zv} dv_{zv}$ (7) tenglikka asosan $v_z=0$, $v_{zv} dv_{zv}=g dh$ bo'lsa, u holda

$$v=n_f(v_{zv})g dh \quad (8)$$

Bu dh qatlamga har sekundda kelayotgan va undan chiqib ketayotgan molekularlar orasidagi farqdir.

Farqni (6) tenglikni differensiallab, keyin tezlikning ω , o'rtacha qiymatiga ko'paytirib ham topish mumkin.

$$v_z = dh = n_0 \frac{mNg}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNg h}{RT}\right) \omega \cdot dh \quad (9)$$

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

$$f(U_{zv}) = \frac{mN}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNg h}{RT}\right) \omega = \frac{mN\omega}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNg h}{2RT}\right) \quad (10)$$

Demak, tezliklar bo'yicha molekularlarning 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:

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

yoki

$$f(v_{zv}) = \frac{2m}{U^2} \cdot \exp\left(-\frac{U^2}{U^2}\right) \quad (12)$$

h balandlikda birlik hajmdagi soni n ni (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 molekularning potentsial energiyasini beradi.

Tezliklari v_z , $v_z + dv_z$ intervalda h balandlikda birlik hajmdagi molekularlar soni

$$dN_{v_z} = \frac{N}{\sqrt{\pi} \cdot U} \exp\left(-\frac{U^2}{U^2}\right) dv_z = N f(v_z) dv_z$$

Bu yerda

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

ga asosan

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

Bu yerdan h balandlikdan molekularning 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.

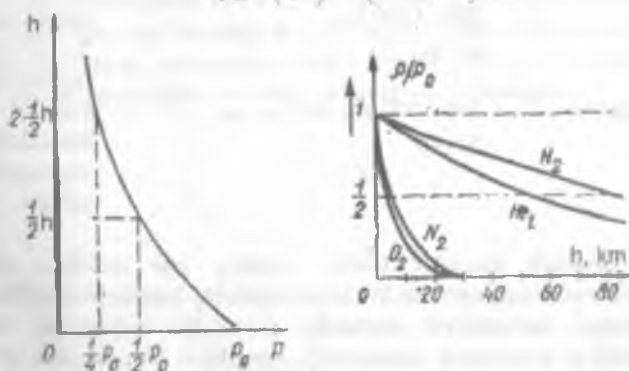
Bolsmanning bu qonunini og'irlik kuchi maydonida molekularning taqsimlanishini yoki og'irlik kuchi potentsial maydonida issiqlik haakatida ishtirok etayotgan zarralar taqsimlanishini ifodalaydi. Bu qonunni istalgan potentsial maydonda bo'lgan barcha gazsimon molekularlarga o'xshash zarralar uchun qo'llash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

Agar Maksvellning taqsimlanish qonuni formulasi

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left(\frac{u}{u^*}\right)^2 \cdot \exp\left(-\frac{u^2}{u^{*2}}\right) \cdot \frac{du}{u}$$

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

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left(\frac{u}{u^*}\right)^2 \cdot \exp\left(-\frac{u^2}{u^{*2}} + \frac{2\varphi}{u^*}\right) \cdot \frac{du}{u} \quad (16)$$



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'rindiki:

1) Kislorodning zichligi Yer sirtidan 5 km, vodorodniki esa 80 km, geliyniki esa 40 km balandlikda 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

1.4. jadval			
<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 °C pasayadi
Stratosfera	Tropopauzadan 50-55 km yuqorida	50-55 km balandlikda	Stratopauzada 2,5 dan -12,5 °C gacha pasayadi
Mezosfera	Stratopauzadan 80-85 km yuqorida	80-85 km balandlikda	Har km da 3-4 °C gacha pasayadi
Termosfera	80-85 km dan yuqori (800-1000 km gacha)	-	Harorat oshadi, 120 km balandlikda 60 °C, 150 km balandlikda 700 °C
Ekzosfera	800-1000 km dan yuqori	-	Harorat balandlikka mutanosib ravishda oshadi

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): gaz zichligi, molekulalar konsentratsiyasi, og'irlik kuchi, atmosfera, bosim, balandlik, Bolsman taqsimoti, barometrik formula, potensial energiyasi, troposfera, starosfera, mezosfera, termosfera, egzosfera, tropopauza, stratopauza, mezopauza.

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:

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

bu yerda m_0 – zarra hajmidagi suyuqlik massasi.

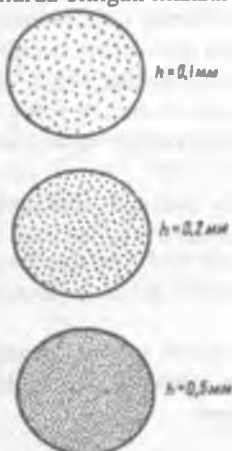
Perren suspenziyada gummigut bo'yog'idan foydalandi, har xil tajribalardan zarrachalar o'lchami 150 nm dan 500 nm gacha, $h - h_0$ balandliklar farqi bir mikrometr atrofida, n va n_0 – mikroskop qisqa fokusi ko'rish maydonidagi zarralar miqdori. Suspenziya barcha qatlamlarining balandligi 0,1 mm atrofida.

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.

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

bu yerda r – zarra radiusi, η – uning tezligi, η – suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsiyenti, ρ – gummigut zichligi va ρ_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.

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 molekular o'rtacha energiyasi $\frac{3}{2} kT$ Broun zarralarining o'rtacha energiyasi $\frac{m\bar{v}^2}{2}$ 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 Δt 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'rsatdilarki, Δl bo'lakchalarning proyeksiyasi bo'lgan o'rtacha uzunlik kvadrati Δl_x^2 barcha yo'nalishlarda masalan, x o'qida quyidagi munosabatni qanoatlantiradi.

$$\frac{\Delta l_x^2}{\Delta t} = \frac{Rt}{N3\pi\eta} \quad (3)$$

bu yerda: r – Broun zarrasi radiusi, η – Broun zarrasi harakatlanayotgan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti. Bu usul N_A Avogadro soni uchun aniq qiymatlarni beradi.

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

Ko'pchilik hollarda Loshmidt soni n_0 dan, ya'ni normal sharoitda 1 sm³ gaz hajmidagi molekular sonidan ham foydalaniladi:

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

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Avogadro soni, Perren tajribasi, Bolsman qonuni, zarra o'lchami, Broun harakati, zarraning o'rtacha energiyasi, Loshmidt soni.

Fluktuatsiya

Har qanday gaz hajmida bo'lgan N' molekular soni doimiy emas. Xaotik issiqlik harakati natijasida V hajmdan Δt vaqt intervalida N'_1 molekula chiqib ketsa, N'_2 molekula kelib qo'shiladi. N'_1 va N'_2 kattaliklar umuman bir-biriga teng emas, shuning uchun V hajmdagi molekular soni doimiy bo'lmay N' 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, δ nisbiy fluktuatsiya

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

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

$$\sigma = \overline{\delta^2} = \frac{(N' - N)^2}{N'^2}$$

N' ning yuqori qiymatlarida, Smoluxovskiy 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, $0,01 = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{N'}}$, bundan $N' = \frac{2}{3,14} \cdot 10^4 = 0,637 \cdot 10^4$. Molekulalarning bunday soni normal sharoitda quyidagicha teng hajmni egallaydi:

$$\frac{22410 \cdot 0,637 \cdot 10^4}{6,023 \cdot 10^{23}} = 2,37 \cdot 10^{-18} \text{ sm}^3$$

Gazning katta hajmlarida fluktuatsiya ancha kichik. Molekular soni kam, ya'ni bir necha o'n, unga 10^{-18} sm^3 hajm to'g'ri keladi va molekular soni fluktuatsiyasi 10% gacha yetadi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): molekular soni, xaotik issiqlik harakati, fluktuatsiya, dispersiya, nisbiy fluktuatsiya.

MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

1-masala

440 g CO₂ gazdagi molekularlar 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:

Moddada barcha molekularlar sonini aniqlaydigan formuladan foydalanamiz:

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

Hisoblash:

$$N = 6 \cdot 10^{23} \frac{44 \cdot 10^{-1}}{44 \cdot 10^{-3}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ ta}$$

2-masala

27°C haroratdagi gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 600 m/s. Agar shu temperatura gazning zichligi 1,5 kg/m³ bo'lsa, uning hajm birligidagi molekular soni qanchaga teng?

Berilgan:

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

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

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

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°C dan 47°C ga ortganida bosimi 20 kPa ga ortgan. Gazning boshlang'ich bosimini aniqlang.

Berilgan:

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

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

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

$$p_1 = ?$$

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:

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

4-masala

2 g azot 2 atm. bosim ostida 820 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°C haroratda 760 millimetr simob ustuni bosimda 10 g kislorod qanday hajmni egallaydi?

Berilgan:

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

$$T=20^{\circ}\text{C}=293 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

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

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

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

$V=?$

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 $8,1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ bosim va 17 °C haroratda azot to'ldirildi. Ballonda qancha azot bor?

Berilgan:

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

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

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

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

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

$m=?$

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:

$$m = \frac{8.1 \times 10^4 \cdot 12 \times 10^{-3} \times 28}{8.31 \times 290} = 1.13 \text{ kg}$$

7-masala

Og'zi mahkam berkitilgan shishadagi havoning 7°C haroratda bosimi 1 atm. Shisha isitilganda havo bosimi 1,3 atm.ga yetganda tiqin otilgan. Shisha qanday haroratgacha isitilganligi topilsin.

Berilgan

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

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

$$P_2 = 130 \text{ kPa} = 1.3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = ?$$

Masalaning yechilishi:

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

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

bundan T_2 ni topamiz

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

Hisoblaymiz:

$$T_2 = \frac{1.3 \cdot 10^5 \cdot 280}{10^5} = 364^\circ\text{K}$$

8-masala

6,4 kg kislorod sig'adigan ballon devori 20°C haroratda 160 kG/sm^2 bosimga chidasa, uning eng kichik hajmi qanday bo'ladi?

Berilgan:

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

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

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

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

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

$$V=?$$

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:

$$V = \frac{6,4 \times 8,31 \times 293}{15,7 \times 10^4 \times 32} = 3,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

9-masala

Ballonda 10^7 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,

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

Hisoblaymiz:

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

10-masala

27°C haroratda 760 millimetr simob ustuni bosimda 25 litr oltingugurt gazi (SO_2) ning massasi topilsin.

Berilgan:

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

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

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

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

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

$$m = ?$$

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:

$$m = \frac{10^5 \times 25 \times 10^{-3} \times 64}{8,31 \times 300} = 0,065 \text{ kg}$$

11-masala

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

Berilgan:

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

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

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

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

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

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

$$m = ?$$

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

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

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°C va 2) 100°C haroratlar uchun 0,5 g vodorodning izotermalari topilsin.

Berilgan:

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

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

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

$$PV_1 = ?$$

$$PV_2 = ?$$

Masalaning yechilishi:

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

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

Hisoblaymiz:

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

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

13-masala

1) 29°C va 2) 180°C haroratlar uchun 15,5 g kislorodning izotermalari topilsin.

Berilgan:

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

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

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

$$PV_1 = ?$$

$$PV_2 = ?$$

Masalaning yechilishi:

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

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

Hisoblaymiz:

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 = \frac{15.5 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 302}{32} = 1215 \text{ J}$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 = \frac{15.5 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 453}{32} = 1823 \text{ J}$$

14-masala

Gaz solingan 10 m^3 hajmli ballonda 17°C harorat va 720 mm . simob ustuni bosimda qancha miqdorda kilomol gaz bo'ladi?

Berilgan:

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

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

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

$$R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$\nu = ?$$

Masalaning yechilishi:

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi)

ni yozamiz:

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

va

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

ekanligini c'tiborga olsak, u holda

$$PV = \nu RT$$

bo'ladi, bundan

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

Hisoblaymiz:

$$\nu = \frac{96 \cdot 10^3 \cdot 10}{8.31 \cdot 290} = 400 \text{ mol}$$

15-masala

50 °C haroratda to'yingan suv bug'ining elastikligi 92,5 mm. simob ustuniga teng bo'lsa, bu bug'ning zichligi nimaga teng?

Berilgan:

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

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

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

$$\rho=?$$

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,

$$\rho=\frac{PM}{RT}$$

bo'ladi.

Hisoblaymiz:

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

16-masala

15 °C harorat va 730 mm. simob ustuni bosimidagi vodorodning zichligi topilsin?

Berilgan:

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

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

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

$$\rho=?$$

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 °C 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:

$$T = 10^\circ \text{C} = 283^\circ \text{K}$$

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

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

$$\mu = ?$$

Masalaning yechilishi:

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleev-Klapcyron tenglamasi) ni yozamiz:

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

bundan,

$$\mu = \frac{PRT}{P}$$

Hisoblaymiz:

$$\mu = \frac{PRT}{P} = \frac{0.34 \times 8.31 \times 10^3 \times 283}{2 \times 10^5} = 4 \text{ kg/kmol}$$

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 $T = 15^\circ \text{C}$ ga teng.

Berilgan:

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

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

$$\rho = ?$$

Masalaning yechilishi:

Ideal gazning holat tenglamasi (Mendeleev-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:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT} = \frac{1,33 \times 10^9 \times 0,029}{8,31 \times 288} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$$

19-masala

7°C 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:

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

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

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

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

$$T_2 = ?$$

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°C harorat va 3 atmosfera bosimda turibdi. U o'zgarmas 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:

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

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

$$T_1=10^\circ\text{C}=283^\circ\text{K}$$

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

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

$$V_1=?$$

$$T_2=?$$

$$\rho_1=?$$

$$\rho_2=?$$

Masalaning yechilishi:

Gazning kengayishdan oldin va keyingi holatlari uchun Mendeleev-Klapeyron tenglamasini yozamiz

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

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

$$\text{Shart bo'yicha: } P=P_1=P_2$$

Hisoblaymiz:

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

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

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

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

21-masala

Sig'imi 1 m^3 bo'lgan berk idishda 0.9 kg suv va 1.6 kg kislorod bor. 500°C haroratda suvning to'liq bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, bu haroratda idishdagi bosim topilsin.

Berilgan:

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

$$m_1=1.6 \text{ kg}$$

$$m_2=0.9 \text{ kg}$$

$$T=500\text{ C}=773\text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$P=?$$

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 ($T=\text{Const}$)

$$P'_0(V_1+V_2)=P_1V_1;$$

$$P'_0(V_1+V_2)=P_2V_2$$

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 (CO_2) va 5 g azot (I) oksidi (N_2O) bilan to'ldirilgan. 127°C haroratda idishdagi umumiy bosim qanday?

Berilgan:

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

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

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

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

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

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

$$P = ?$$

Masalaning yechilishi:

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasidan P_1 va P_2 ni topamiz:

$$P_1 = \frac{m_1 R T}{\mu_1 V} = 226.6 \text{ Pa}$$

$$P_2 = \frac{m_2 R T}{\mu_2 V} = 188.8 \text{ Pa}$$

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 efir ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) 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-Klapecyron 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 °C haroratda va 750 mm. sim. ust. bosimda 80 m³ hajmli uyda qancha havo molekullari bo'ladi?

Berilgan:

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

$$t=17\text{ }^{\circ}\text{C}=290\text{ }^{\circ}\text{K}$$

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

$$N=?$$

Masalaning yechilishi:

Molekular kintik 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°C haroratda idishning har 1 sm^3 hajmida nechta molekula bo'ladi?

Berilgan:

$$t=10^\circ\text{C}=283^\circ\text{K}$$

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

$$n=?$$

Masalaning yechilishi:

Molekular kintik nazariyaning asosiy tenglamasini yozamiz:

$$P=nkT$$

bundan, molekulalar 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°C haroratda havo molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

Berilgan:

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

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

$$R=8,31$$

$$v_{kv}=?$$

Masalaning yechilishi:

Molekulalar 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 molekulari o'rtacha kvadratik tezliklarining nisbati topilsin

Berilgan:

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

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

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

$$v_{kv}=?$$

Masalaning yechilishi:

Molekular o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozamiz:

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

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

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 273}{4}} = 1701.4 \text{ m/s}$$

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 273}{14}} = 486.13 \text{ m/s}$$

bu tezliklar nisbatini

Hisoblaymiz:

$$\frac{v_{kv}}{v_{kv}} = 2.65$$

29-masala

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

Berilgan:

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

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

$$v=?$$

Masalaning yechilishi:

Molekular o'rtacha kvadratik tezligini topish formulasini yozamiz:

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

bu formuladan vodorod molekularining o'rtacha kvadratik tezligini Hisoblaymiz:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,31 \times 10^7}{0,002}} = 3,5 \times 10^4 \text{ m/s}$$

30-masala

Agar 200 mm. sim. ust. bosimda vodorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/sec ga teng bo'lsa, bu sharoitda 1 sm³ 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 kintik 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:

$$n = \frac{3PN_A}{v_{kv}\mu} = \frac{3 \times 266,6 \times 6,02 \times 10^{23}}{(2400)^2 \times 0,002} = 4,2 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$$

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:

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

Mustaqil yechish uchun masalalar

Kavsharlangan idish hajmining yarmigacha suv to'ldirilgan. 400°C haroratda suvning to'liq bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, bu haroratda suv bug'ining bosimi va zichligi topilsin.

Javob: $p = 1,55 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$.

Kislorod zichligining 1) $T = \text{const} = 390^\circ\text{K}$ harorat bosimga bog'lanish ($0 \leq p \leq 4 \text{ atm}$ intervalda $0,5 \text{ atm}$ dan oralatib) va 2) $p = \text{const} = 4 \text{ atm}$ bosimda haroratga bog'lanish ($200^\circ\text{K} \leq T \leq 300^\circ\text{K}$ intervalda 20° dan oralatib) grafigi chizilsin.

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

Javob: $p_1 = 3,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $p_2 = 3,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $p = 6,4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

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

Javob: $p = 1,4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

$2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmli idishda 6 g karbonat angidrid (CO_2) va 5 g azot (I) oksidi (N_2O) bilan to'ldirilgan. 127°C haroratda idishdagi umumiy bosim qanday?

Javob: $p = 4,15 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

Idishda 10°C haroratda va 10^6 N/m^2 bosimda 14 g azot va 9 g vodorod bor. 1) aralashma bir kilomolining massasi; 2) idishning hajmi topilsin.

Javob: 1) $\mu=4,6 \text{ kg/kmol}$; 2) $V=11,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

Normal sharoitdacha 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, idishdagi bosim 1050 mm. sim. ust. ga teng bo'lib qolgan. Idishda qanday miqdorda efir yuborilgan. Idishning hajmi $V=2 \text{ l}$.

Javob: $m=2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$.

0,5 sig'imli dishda 1 g bug'simon yod bor. 1000°C haroratda idishdagi bosim 700 mm sim.ust. ga teng bo'lgan. Shunday sharoitda yod mockulasi J_2 ning yod atomlari J molekulaga dissosialanish darajasi topilsin. J_2 ning bir kilomol massasi 254 kg/kmol ga teng.

Javob: $p_{\text{aral}}=1,12$; $\alpha=0,12$.

Idishda karbonat angidrid gazi bor. Biror haroratda karbonat angidrid gazining kislorodga va karbon oksidiga dissotsialanish darajasi 25% ga teng. Bu sharoitdagi bosim karbonat angidrid gazi molekulari dissotsialanmagandagi bosimidan necha marta katta bo'ladi?

Javob: 1,25 marta.

Havo og'irligining 23,6% qismi kisloroddan va 76,4% qismi azotdan tashkil topgan deb hisoblab, havoning 750 mm. sim. ust. bosimda va 13°C haroratdagi zichligi topilsin. Bu sharoitda kislorod va azotning porsial bosimi topilsin.

Javob: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$, $p_1=0,236 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $p_2=0,764 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

Idishda 10 g karbonat angidrid gazdan va 15 g azotdan iborat aralashma bor. Bu aralashmaning 27°C haroratda va $1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi topilsin.

Javob: $\rho=1,98 \text{ kg/m}^3$.

1) Vodorod, 2) geliy atomining massasi topilsin.

Javob: 1) $m=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; 2) $m=6,65 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

D=1 mkm diametrli gummigut zarrachalari Brown harakatida ishtirok qiladi. Gummigutning zichligi $\rho=1 \text{ g/sm}^3$, $t=0^\circ\text{C}$ haroratda gummigut zarrachalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

Javob: $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/sek.}$

Biror gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 450 m/s ga teng. Gazning bosimi $5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ga teng. Bu sharoitda gazning zichligi topilsin.

Javob: $\rho=0,74 \text{ kg/m}^3$.

1) 750 mm. sim. ust. bosimda zichligi $8,2 \cdot 10^{-5} \text{ g/sm}^3$ ga teng bo'lgan gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin. 2) Agar zichlikning bu qiymati 17°C harorat uchun berilgan bo'lsa, bu gazning bir kilomol massasi nimaga teng?

Javob: 1) 1900 m/s ; 2) $\mu=2 \text{ kg/kmol}$.

Normal sharoitda biror gazning o'rtacha kvadratik tezligi 461 m/s ga teng. Bu gazning 1 g dagi molekularining soni qancha.

Javob: $N=1,88 \cdot 10^{23}$.

II BO'LIM

TERMODINAMIKANING I QONUNI

Termodinamikaning asosiy tushunchalari

Termodinamika bitta yoki bir nechta molekulalar bilan bo'ladigan hodisalarni o'rganmay, 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 ($P=\text{const}$), harorati ($T=\text{const}$), hajmi ($V=\text{const}$) 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' o'rasidagi 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): termodinamika, makroskopik sistema, termodinamik sistema, yopiq sistema, termodinamik parametr, termodinamik muvozanat, termodinamik sistema muvozanati.

Issiqlik va ish orasidagi bog'lanish. Issiqlikning mexanik ekvivalenti

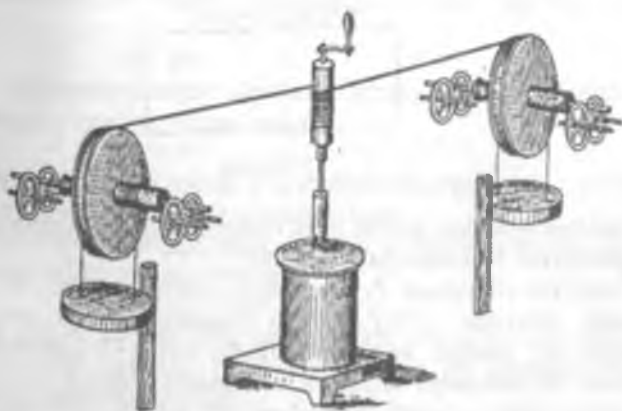
XIX asrning o'rtalarigacha issiqlik tog'risidagi bilimlarda XVIII asrning boshlarida Volf tomonidan yaratilgan *teplorod* nazariyasi hokimik qildi. Bu nazariyaga asosan issiqlik – bu vaznsiz teplorod, uning oshishi jism haroratini ko'tarilishiga olib kelsa, teplorodning kamayishi esa jism haroratining 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 Karmo 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'kidladi.

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°C ga ($19,5^{\circ}\text{C}$ dan $20,5^{\circ}\text{C}$ 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'implari orasidagi bog'lanishni beruvchi Mayer tenglamalari issiqlikning mexanik ekvivalenti uchun deyarli aniq qiymatlarni beradi, ya'ni $36,7 \text{ kg m/kkall}$ (aniq qiymat 427 kg m/kkall).

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



1-rasm. Joule tajribasi qurilmasi.

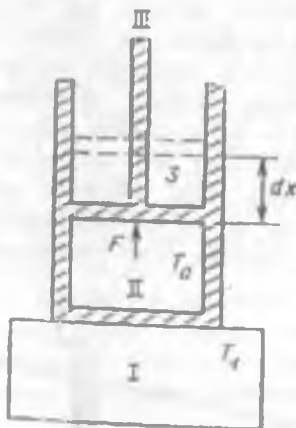
Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Volf, Lomonosov, issiqlikning mexanik nazariyasi, issiqlikning yuzaga kelishi, Rumford tajribasi, Devi, Petrov, kaloriya, issiqlikning mexanik ekvivalenti, Joule tajribasi.

Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni – *bu issiqlik jarayonlarida energiya 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 ΔU miqdorga o'zgaradi.

Agar kuzatilayotgan T_0 haroratli II sistema boshqa T_1 haroratli I sistemaga tekkizilsa ($T_1 > T_0$), unda kuzatilayotgan I termodinamik sistemaga ΔQ issiqlik miqdori uzatiladi. Bunda I sistemaning ichki energiyasi ΔU 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 ΔA 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 (ΔQ) uning ichki energiyasi (ΔU) ortishiga va sistemani tashqi atrofda 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 ishini hisoblaymiz. 2-rasmda ko'rsatilganidek, gaz yuzasi S bo'lgan qo'zgaluvchan porshen bilan berkitilgan silindrga qamalgan bo'lsin. Sistema (gaz) atrofida 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:

$$dA = F dx = P S dx \quad (3)$$

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

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

$$dV = S dx \quad (4)$$

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

$$dA = P dV \quad (3a)$$

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:

$$dQ = dU + P dV \quad (5)$$

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.

Tayanch iboralar (kalit soʻzlar): Termodinamikaning I qonuni, energiya aylanishi, energiya saqlanishi, Termodinamika I qonunining matematik ifodasi, ichki energiya, ish, issiqlik miqdori, holat funksiyasi.

Ideal gazning ichki energiyasi

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

- a) molekullar xotik harakatining kinetik energiyasi – U_k ;
- b) molekullarni 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 molekullarning o'zaro tas'ir kuchlari nolga teng deb qaralganligi uchun ideal gazning ichki energiyasi molekullar xotik harakatining kinetik energiyasi bilan aniqlaniladi.

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

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

(1) tenglikni, 1 mol gazdagi zarralar soniga (Avogadro soniga) $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$ 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

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

Demak, m massali ideal gazning ichki energiyasi faqat haroratga bog'liq bo'lib, bosim va hajmga bog'liq emas. (3) formula bir atomli molekullar uchun o'rinli.

Agar gaz ko'p atomli molekullardan tashkil topgan bo'lsa, uning ichki energiyasini hisoblaganda molekullar 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, energiya 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): moddaning ichki energiyasi, kinetik energiya, potensial energiya, tebranma harakat, molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi, Avogadro soni, ixtiyoriy massali ideal gaz, harorat, ish, ko'chish, energiyaning uzatilishi va aylanishi, haroratning o'zgarishi, issiqlik miqdori.

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

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

(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

$$C = \frac{dQ}{mdT} \quad (2)$$

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

$$C_\mu = \mu c = \frac{\mu dQ}{mdT} \quad (3)$$

bunda μ – moddaning molar 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 ($V=\text{Const}$) 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 $V=\text{Const}$ yoki $dV=0$ bo'lganligi uchun sistema tashqi kuchlarga nisbatan ish bajarmaydi ($dA=0$). Sistemaga berilayotgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasi o'zgarishiga ketadi, shuning uchun

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

Unda

$$C_{\mu V} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V \quad (6)$$

Bundan,

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

(7) dan ko'rinadiki, ideal gazning ichki energiyasini o'zgarishi haroratning o'zgarishiga bog'liq ekan.

Gazning isitilishi o'zgarmas bosimda ($P=\text{Const}$) oshsin, unda bir mol gazning issiqlik sig'imi izobarik jarayonda

$$C_{\mu P} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_P \quad (8)$$

bo'lib, bundan

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

hosil bo'ladi.

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

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

(10) dan izobarik jarayonda ideal gazning molar 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 molar issiqlik sig'imi, o'zgarmas hajmdagi molar issiqlik sig'imidan universal gaz doimiysicha katta ekan.*

Normal atmosfera bosimi va 25°C haroratda gazlar uchun $\frac{C_p}{R}$ ning eksperimental qiymatlari

2.1. jadval

Gaz	Molekuladagi atomlar soni	$\frac{C_p}{R}$	Gaz	Molekuladagi atomlar soni	$\frac{C_p}{R}$
Vodorod	1	2,50	Vodorod	2	3,47
Azot	1	2,50	Azot	2	3,50
Kislorod	1	2,63	Kislorod	2	3,53
Neon	1	2,50	Xlor	2	4,07
Argon	1	2,50	CO ₂	3	4,47
Kripton	1	2,50	C ₃ O ₂	5	7,91

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): issiqlik miqdori, jismning massasi, issiqlik sig'imi, solishtirma issiqlik sig'imi, molar issiqlik sig'im, hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imi, izoxorik jarayon, bosim o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imi, izobarik jarayon, Mayer tenglamasi, Universal gaz doimiysi.

Termodinamika birinchi qonunining izojarayonlarga tatbiqi.
Izojarayonlarda gazning bajargan ishi

Termodinamik sistemaning holatini tavsiflovchi termodinamik parametrlardan (bosim, hajm, harorat) birortasi o'zgarmas bo'lsa,

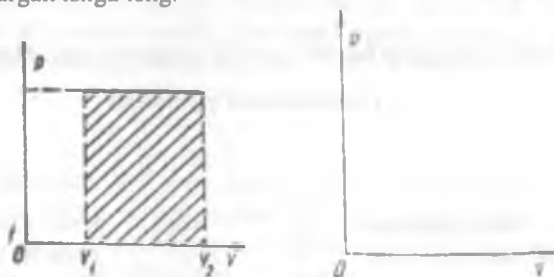
sistemada bo'layotgan jarayonlar *izojarayonlar* deyiladi. Mana shu izojarayonlarga termodinamika birinchi qonuni $dQ = dU + PdV$ ni tadbqiqilamiz.

1. *Izobarik jarayonda* gazga berilgan issiqlik miqdori ($dQ = C_{mP} dT$) uning harorati (dT) ortishiga, ya'ni ichki energiyasining ortishiga va gaz kengayishiga bajarilgan ishga sarf bo'lar ekan.

Izobarik jarayonda ($P = \text{const}$) gazning bajargan ishi:

$$A = \int P dV = P(V_2 - V_1) = P \Delta V \quad (1)$$

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



3(a, b)-rasm.

Klapecyron-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.*

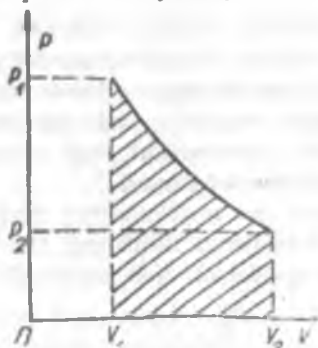
1. **Izotermik jarayon** ($T=\text{const}$). Izotermik jarayonning grafigi 4-rasmda keltilgan. Izotermik jarayonda sistemaning harorati o'zgarmas yoki haroratning o'zgarishi ($dT=0$) nolga teng, shuning uchun sistemaning ichki energiyasining o'zgarishini ham nolga teng, ya'ni

$$dU = C_v dT = 0 \quad (6)$$

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

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

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.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): termodinamik sistema, termodinamik parametrlar, izojarayonlar, izobarik jarayon, izobarik jarayonda ish, Klapcyron-Mendeleyev tenglamasi, izoxorik jarayon, izoxorik jarayon uchun Termodinamikaning I qonuni, ichki energiya, izotermik jarayon, izotermik jarayon uchun Termodinamikaning I qonuni, tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ish, izotermik jarayonda bajarilgan ish.

Issiqlik sig'imining klassik nazariyasi

Issiqlik sig'imining klassik nazariyasi Bolsman va Maksvell tomonidan ishlab chiqilgan. Bu nazariya quyidagi gipotezaga asoslangan: *energiya-molekula harakatining erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanadi. Moddiy nuqtaning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun zarur bo'lgan erkli koordinatalar soni nuqtaning erkinlik darajasi deyiladi va u i harfi bilan belgilanadi.*

Bir atomli ideal gaz molekulalarini moddiy nuqta deb qaraymiz. Klassik mexanika qonunlariga asoslansak, molekula ilgarilanma harakat energiyasi yuqorida quyidagicha ifodalangan edi:

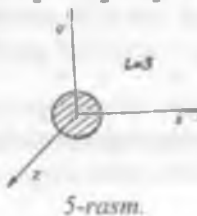
$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (1)$$

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

$$K_{\text{a}} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (2)$$

ni nolga teng deb qarash 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:

$$\overline{\varepsilon} = \frac{\overline{mv_x^2}}{2} = \frac{\overline{mv_y^2}}{2} = \frac{\overline{mv_z^2}}{2} = \frac{1}{2} kT \quad (3)$$



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:

$$\bar{E} = \bar{\epsilon} = \frac{1}{2}kT = \frac{3}{2}kT \quad (4)$$

Unda bir mol ideal gazning ichki energiyasi

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

bo'ladi. Bu yerda N_A – Avogadro soni.

(5) ga asosan o'zgarmas hajmda bir atomli ideal gazning molar 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

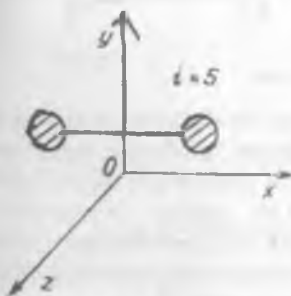
$$C_{\mu} = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 12,45 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

R.Mayer tenglamasidan foydalanib, o'zgarmas bosimda bir atomli ideal gazning molar issiqlik sig'imini hisoblaymiz, ya'ni

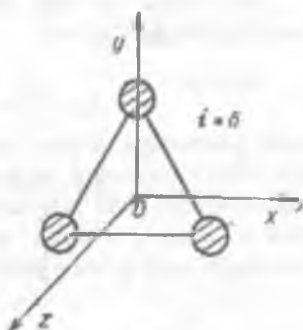
$$C_{\mu} = C_{\mu} + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R \quad (7)$$

$$C_{\mu} = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 20,75 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

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.

$$\frac{\eta}{D} = \rho = 0,3 \text{ g/l} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

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:

$$P = \frac{\rho v^2}{3} = \frac{0,3 \cdot 632^2}{3} = 39942 \text{ Pa} = 300 \text{ mm.sim.usl}$$

5-masala

Diffuziya koeffitsiyenti $0,142 \text{ sm}^2/\text{s}$ bo'lgan azot molekulasining normal sharoitda ichki ishqalanish koeffitsiyentini toping.

Berilgan:

$$D = 0,142 \text{ sm}^2/\text{s}$$

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

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

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

$$\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\eta = ?$$

Masalaning yechilishi:

Ichki ishqalanish koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz:

$$\eta = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho$$

va

$$D = \frac{1}{3} \nu \lambda$$

ekanligini e'tiborga olsak,

$$\eta = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho = D \rho$$

ρ 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,

$$\eta = \frac{1}{3} \nu \lambda \rho = D\rho = \frac{DP\mu}{RT}$$

Hisoblaymiz:

$$\eta = \frac{DP\mu}{RT} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273} = 1,78 \cdot 10^{-4} \frac{\text{N}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

Agar biror gaz molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'li $5 \cdot 10^{-4}$ sm va o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s bo'lsa, shunday sharoitda gaz molekulasining 1 sek dagi o'rtacha to'qnashishlar soni topilsin.

Javob: $9,2 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$.

Agar normal sharoitda vodorod molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'li $1,6 \cdot 10^{-7}$ m ga teng bo'lsa, shunday sharoitda vodorodning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $D = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Normal sharoitda geliyning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $D = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sek}$.

Vodorod diffuziya koeffitsiyentining o'zgarmas $p = \text{const} = 1 \text{ atm}$ bosimda haroratga bog'lanish grafigi $100^\circ \text{ K} \leq T \leq 600^\circ \text{ K}$ intervalda 100° oralatib chizilsin.

Javob: diffuziya koeffitsiyenti haroratga mutanosib ravishda oshib boradi.

Agar normal sharoitda azotning diffuziya koeffitsiyenti $0,142 \text{ cm}^2/\text{s}$ ga teng bo'lsa, shunday sharoitda azotning ichki ishqalanish koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $\eta = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

Agar 0°C haroratda kislorodning ichki ishqalanish koeffitsiyenti $\eta = 18,8 \cdot 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ga teng bo'lsa, kislorod molekulasining diametri topilsin.

Javob: $\sigma = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Azot ichki ishqalanish ko'effitsiyentining haroratga bog'lanish grafigi $100^{\circ}K \leq T \leq 600^{\circ}K$ intervalda 100^0 dan oralatib chizilsin.

Javob: ichki ishqalanish ko'effitsiyenti haroratga mutanosib ravishda oshib boradi.

$10^{\circ}C$ harorat va 760 mm. sim. ust. bosimda havoning diffuziya va ichki ishqalanish ko'effitsiyentlari topilsin. Havo molekulasiining diametrini $3 \cdot 10^{-10}$ m ga teng deb olinsin.

Javob: $D = 1,48 \cdot 10^{-5} m^2/s$; $\eta = 1,85 \cdot 10^{-5} kg/m \cdot s$.

Kislorodning ichki ishqalanish ko'effitsiyenti azotning ichki ishqalanish ko'effitsiyentidan necha marta katta? Gazlarning haroratlar bir xil.

Javob: 1,07 marta.

Ma'lum bir sharoitda vodorodning diffuziya va ichki ishqalanish ko'effitsiyentlari mos ravishda $D = 1,42 \text{ sm}^2/s$ va $\eta = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{sek}/m^2$ ga teng. Shunday sharoitda 1 m^2 hajmdagi vodorod molekularining soni topilsin.

Javob: $n = 1,8 \cdot 10^{25} m^{-3}$.

V BO'LIM

ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK

Issiqlik o'tkazuvchanlik

1. Endi issiqlik o'tkazuvchanlikning matematik nazariyasi elementlarini ko'rib chiqamiz. Bu nazariyaga XIX asming 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 saqlansa, 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.

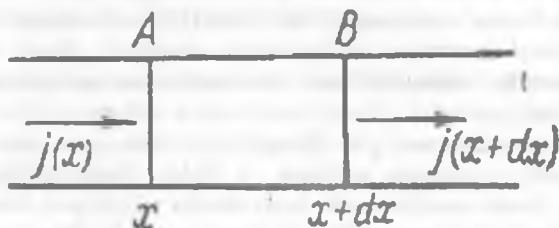
Har ikkala holda ham issiqlik uzatishga doir Fure nazariyasining matematik asoslari to'g'riligicha qoladi, holbuki ularning fizik asoslanishi Fure asoslagan tasavvurlarga mutlaqo bog'liq emas.

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 qarash 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.

Issqlik 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 issqlik 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 koordinatasi X bo'lgan A asosi orqali dt vaqt ichida kirayotgan issqlik miqdori $j(x)Sdt$ ga teng. Xuddi shu vaqt ichida B asos orqali ketayotgan issqlik miqdori $j(x+dx)Sdt$ bo'ladi. Silindrning yon qismlaridan issqlik kirmaganligi uchun dt vaqt ichida silindrning biz qarayotgan qismiga kirayotgan to'liq issqlik miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$[j(x) - j(x+dx)]Sdt = -\frac{d}{dx} Sdx dt$$

Biroq, bu issqlikni $dM c_v dt$ ko'rinishda ifodalash ham mumkin. Bu yerda $dM = \rho S dx$ – AB silindrning massasi, c_v – solishtirina issqlik 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 issqlik oqim zichligi va muhitning T harorati orasidagi bog'lanishni aniqlash kerak. Tajriba shuni ko'rsatadiki, muhitning harorati faqat nuqtadan nuqtaga o'zgargandagina, issqlik oqimi bo'lar ekan. Issqlik 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, *issqlik oqimi haroratlarning farqi $T_1 - T_2$ ga to'g'ri mutanosib, plastinkaning l*

qalinligiga teksari mutanosib ekan. Matematik ravishda buni shunday ifodalash mumkin:

$$j = \kappa \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (2)$$

bu yerda κ – 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 $l=dx$, $T_1=T(x)$, $T_2=T(x+dx)$

$$\frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{T(x) - T(x+dx)}{dx} = -\frac{dT}{dx}$$

bo'ladi va (1) formula ushbu ko'rinishga keladi.

$$j = -\kappa \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

(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 κ barcha fazoviy x , y , z , koordinatalarning funksiyasi bo'ladi. Bizning bir o'lchamli masalamizda bu koeffitsiyent faqat bitta fazoviy koordinata x ga bog'liq bo'ladi: $\kappa = \kappa(x)$.

Agar (3) ifodani (1) formulaga qo'ysak, u holda quyidagi hosil bo'ladi.

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dx} \left(\kappa \frac{dT}{dx} \right) \quad (4)$$

Bu tenglama issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi deb ataladi. Muhit bir jinsli bo'lgan va κ koeffitsiyent haroratga bog'liq bo'lmaydigan xususiy holda, bu tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = \kappa \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (5)$$

yoki

$$\frac{dT}{dt} = \chi \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (6)$$

bu yerda

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho c} \quad (7)$$

belgilash kiritilgan. κ *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'miga quyidagicha yozish kerak bo'ladi:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dx} \left(\chi \frac{dT}{dx} \right) + q \quad (8)$$

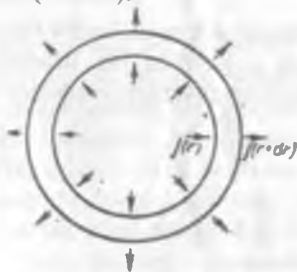
Bunga muvofiq holda boshqa tenglamalar ham o'zgaradi.

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:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = - \left(\frac{d}{dx} \left(\chi \frac{dT}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\chi \frac{dT}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(\chi \frac{dT}{dz} \right) \right) + q \quad (9)$$

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 chcklanamiz. Bunday hollarda to'g'ri burchakli koordinatalar o'miga *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 $4\pi(jr^2)_{,t} dt$ va $4\pi(jr^2)_{,r+dr} dt$ ko'rinishda yozamiz. Bunda gap faqat argumentning turli r va $r+dr$ qiymatlaridagi ayni bir funktsiya jr^2 to'grisida ketayotgani qayd qilinadi. Ular orasidagi

$$4\pi[(jr^2)_{,r} - (jr^2)_{,r+dr}]dt = -4\pi \frac{d}{dr}(jr^2)drdt$$

farq atrof fazodan dt vaqt ichida qaralayotgan sferik qatlamga oqib kirayotgan issiqlik miqdorini beradi. Issiqlik manbalari bo'lganida bunga yana bu manbalar beradigan $4\pi q r^2 drdt$ issiqlik miqdorini ham qo'yish mumkin. Biroq qatlamdagi issiqlik miqdorining o'zgarishini $p \cdot 4\pi r^2 dr \cdot c_p dT$ ko'rinishida ifodalash mumkin. Shuning uchun issiqlik balansi tenglamasi

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr}(r^2 j) + q \quad (10)$$

bo'ladi. (3) munosabatning o'rniga $j = -\kappa \frac{dT}{dr}$ yozish kerak bo'ladi, shuning uchun

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(\kappa r^2 \frac{dT}{dr} \right) + q \quad (11)$$

Silindrik simmetriya bo'lganida ham shunga o'xshash mulohaza yuritilardi. r deb simmetriya o'qiga bo'lgan masofani tushunib, quyidagini olamiz:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (\kappa r) + q \quad (12)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(\kappa r \frac{dT}{dr} \right) + q \quad (13)$$

5. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasiga 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 silindmi qirqib olaylik. Silindrning balandligi h uning asoslarining chiziqli o'lchamlariga nisbatan yuqori tartibli cheksiz kichik kattalik bo'lishi kerak. Bunday bo'lganda silindrning yon sirti orqali o'tadigan issiqlik oqimini hisobga olmaslik mumkin bo'ladi. Agar S – silindrning asosi bo'lsa, u holda silindrga I sekund ichida kiruvchi issiqlik oqimi

$$J_a^{(1)} - J_a^{(2)} S$$

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 ikkala asosi bir-biri ustiga tushadigan AB chegaradagi limitda

$$J_a^{(1)} = J_a^{(2)}$$

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 faraz qilinadi. Bunday issiqlik manbalari bo'lganida j vektorning normal tashkil etuvchisida uzluksizlikning uzilishlari bo'lishi mumkin.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): issiqlik o'tkazuvchanlik, matematik nazariya, Fure, issiqlik uzatilishi, issiqlik almashinilishi, konveksiya, issiqlik oqimining zichligi, issiqlik tarqalishi, harorat, issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti, issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi, harorat o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti, haroratning taqsimlanishi, sferik simmetriya, silindrik simmetriya, issiqlik miqdori, issiqlik oqimi vektorining normal tashkil etuvchisi, uzluksizlik.

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 ($C=C_p$).

$$\frac{DQ}{dt} = q = k \cdot \Delta S \cdot \frac{dT}{dx}$$

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 haroratlari 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:

$$C_1 \frac{d\Theta}{dt} = - \frac{k \cdot \Delta S \Theta}{x} = -k' \Theta \quad (7)$$

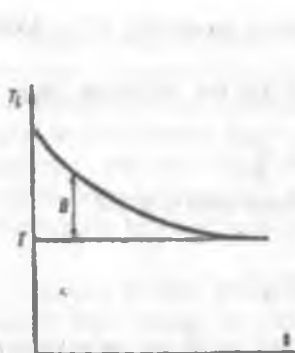
bu tenglamani integrallab,

$$\ln \Theta = - \frac{k'}{C_1} \cdot t + \text{const} \quad (8)$$

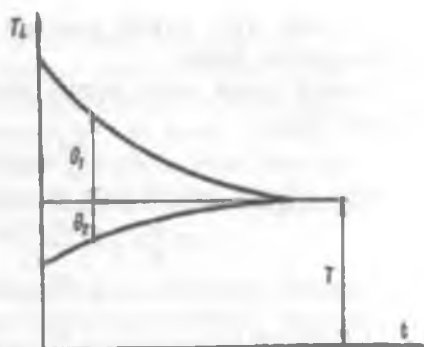
ni olamiz.

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.

Birinci 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:

$$\Theta_1 = \Theta_{a1} e^{-\frac{k'}{C_1} t} \quad \Theta_2 = \Theta_{a2} e^{-\frac{k'}{C_2} t} \quad (10)$$

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 ΔS yuzali idish devoriga kelayotgan issiqlik miqdori δQ_1 va undan chiqayotgan issiqlik miqdori δQ_2 bo'lsin.

Devor ichidagi harorat gradiyenti 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 ΔS da 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 muvozanatlashish tezligini topamiz:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k}{\rho \cdot C} \frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) = \frac{d^2 T}{dx^2}$$

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 o'shsa, konveksiyasiz ham xonaning barcha joyida harorat muvozanatlashadi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): harorat, adiabatik qobiq, issiqlik miqdori, issiqlik sig'imi, Fure tenglamasi, haroratning muvozanatlashishi, haroratning muvozanatlanish tezligi, harorat gradiyenti, harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Fure-Kirxgof tenglamasi, metall, gaz, metall va gazlarda haroratning muvozanatlashuvi.

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,

$$T_1 = T_0 + T_m \cos \omega \cdot t \quad (1)$$

Bu qiymatni

$$C_1 \frac{dT}{dt} = \frac{k \cdot \Delta s (T_1 - T_2)}{x}$$

ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} + k'T_1 = k'T_0 + k'T_2 \cos \omega t \quad (2)$$

Birinci jismning ikkinchi jism o'rtacha haroratidan chetlanishini Θ desak, u holda $T_1 = T_0 + \Theta$; bu qiymatni (2) ga qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$\frac{C_1}{k'} \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = T_2 \cos \omega t \quad (3)$$

Bu tenglama integrali

$$\Theta = A \cos(\omega t - \varphi) + A_0 \frac{1}{C_1} \quad (4)$$

Bu yerda A_0 – doimiylik, $t=0$ boshlang'ich shartdan topiladi; u holda

$$\Theta = A \cos \varphi + A_0 \quad (5)$$

A va φ qiymatlarini quyidagi formulalardan topamiz:

$$A = \frac{T_2}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_1 \omega}{k'}\right)^2}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{C_1 \omega}{k'}$$

Agar $t \rightarrow \infty$ bo'lganda, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\Theta = A \cos(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

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

$$A = \frac{T_2}{\frac{C_1}{k'}};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \infty;$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

Birinci jism haroratining o'zgarish amplitudasi A , ikkinchi jism harorati o'zgarishi chastotasiga teskari mutanosib.

Agar $\frac{k'}{C_1}$ ga nisbatan ω 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): harorat, jism haroratining davriy o'zgarishi, o'rtacha haroratdan chetlanish, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik, haroratning o'zgarish amplitudasi.

Nyutonning 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 δQ 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' 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' haroratgacha integrallab, quyidagini olamiz.

$$t = -\frac{mc}{hS} \int_{T_1}^{T'} \frac{dT}{T - T_2} = -\frac{mc}{hS} \ln \frac{T' - T_2}{T_1 - T_2} \quad (4)$$

Bunga **Nyutonning sovish qonuni** deyiladi.

$\frac{\Delta S}{mc} = b$ belgilash kiritib, (4) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$t = -\frac{1}{b} \ln \frac{T' - T_2}{T_1 - T_2} \quad (5)$$

Endi atrof-muhit harorati T_2 o'zgarmas bo'lganda, jism harorati T_1 dan T' gacha pasayganda ketgan vaqt formulasini topamiz:

$$T' = T_2 + (T_1 - T_2)e^{bt} \quad (6)$$

Oxirgi formuladan katta vaqt oraliqlarida jism va atrof-muhit haroratlari ($t \rightarrow \infty$ da $T' = T_2$) 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): boshlang'ich harorat, atrof-muhit harorati, sovish harorati, issiqlik miqdori, vaqt, issiqlik uzatish, issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Nyutonning sovish qonuni, jismning nur chiqarishi, qattiq jism, suyuq modda, issiqlik almashinuvi.

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 jismda 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 qirrasini orqali dt vaqtda o'tgan suyuqlik massasi

$$dm_i = \rho v_i dx dy dz \quad (1)$$

bu yerda ρ – zichlik, v_z – Z o'qi yo'nalishi bo'yicha tezlik.

Qarama-qarshi qirradan huddi shunday t vaqt ichida oqib o'tgan massa

$$dm_+ = \left[\rho v_z + \frac{d(\rho v_z)}{dz} dz \right] dx dy dt$$

Kirayotgan va chiqayotgan massaning har xil bo'lishi suyuqlik zichligining o'zgarishi bilan bog'liq.

Qaralayotgan hajmdan chiqayotgan massa ortirmasi

$$dm_- = dm_+ - dm_+ = \frac{d(\rho v_z)}{dz} dx dy dz dt$$

Xuddi shunday ikkita X va Y yo'nalishlar uchun massa ortirmasini olsak, u holda dV hajmdan oqib o'tgan ortirma 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 bo'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

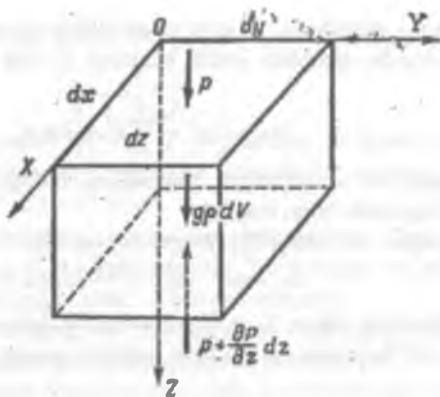
$$\text{div} V = 0$$

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).

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 $dx dz$ qirtasiga qo'shni qatlamlarning ishqalanish kuchlari ta'sir etadi.



6-rasm.

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.

$$\Delta f dx dz = \eta \frac{dv_x}{dy} dx dz \quad (5)$$

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

$$\left(\Delta f + \frac{d\Delta f}{dy} \right) dx dz - \Delta f dx dz = \frac{d\Delta f}{dy} dx dy dz = \eta \frac{d^2 v_x}{dy^2} dV \quad (7)$$

ko'rinish hosil qiladi.

v_x oqim tezlik o'zgarishi barcha koordinata o'qlari uchun umumiy holda

$$\eta \left(\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right) dV = \eta \nabla^2 v_x dV \quad (8)$$

ga teng bo'ladi.

Z o'qda gidrostatik bosim kuchining proyeksiyasini topamiz. dV hajm elementi yuqori qirrasiga $P dx dy$, quyi qirrasiga $\left(P + \frac{dP}{dz} \right) dx dy$ bosim kuchi ta'sir qiladi. Natijaviy bosim kuchi esa quyidagiga teng:

$$P dx dy - \left(P + \frac{dP}{dz} \right) dx dy = - \frac{dP}{dz} dV \quad (9)$$

Hajmning dV elementiga Z o'q proyeksiya bo'yicha ta'sir etayotgan barcha kuchlarning teng ta'sir etuvchisini, og'irlik kuchi $g\rho dV$, ni (8) va (9) ifodalarga qo'shib hosil qilamiz:

$$\left(\rho g, -\frac{dP}{dz} + \eta \nabla^2 u_z\right) dV \quad (10)$$

Bu kuch Nyutonning ikkinchi qonuni bo'yicha elementar dV hajm massasining uning tezlanishi ko'paytmasiga teng, ya'ni

$$\rho \frac{dv_z}{dt} dV = \rho \left(\frac{dv_z}{dt} + \frac{dv_z}{dx} u_x + \frac{dv_z}{dy} u_y + \frac{dv_z}{dz} u_z \right) dV \quad (11)$$

U holda (10) va (11) ni tenglashtirib, quyidagini olamiz:

$$\rho \frac{dv_z}{dt} + \rho \left(\frac{dv_z}{dx} u_x + \frac{dv_z}{dy} u_y + \frac{dv_z}{dz} u_z \right) = \rho g - \frac{dP}{dz} + \eta \left(\frac{d^2 v_z}{dx^2} + \frac{d^2 v_z}{dy^2} + \frac{d^2 v_z}{dz^2} \right) \quad (12)$$

Yana xuddi shunday X , Y o'qlar uchun v_x , v_y 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): suyuqlik va gazlarda issiqlik almashinuvi, konveksiya, nur chiqarish, Fure-Kirxgof, uzluksizlik tenglamasi, suyuqlik oqimi, suyuqlik massasi, suyuqlik zichligi, massa orttirmasi, yopishqoq suyuqlik, ishqalanish kuchi, og'irlik kuchi, gidrostatik bosim, Nyuton formulasi, natijaviy kuch, oqim tezligi o'zgarishi, natijaviy bosim kuchi, Nyutonning II qonuni, Nave-Stoksning differensial tenglamasi, laminar oqim, turbulent oqim.

MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

1-masala

Ichki ishqalanish koeffitsiyenti normal sharoitda $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$ bo'lgan vodorodning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini toping.

Berilgan:

$$\eta = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

$$i=3$$

$$C_V = \frac{i}{2} R = \frac{3R}{2} = 12,5 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$K=?$$

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 molekulalari bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $K=0,014 \text{ W/m} \cdot \text{grad}$. Gazning diffuziya koeffitsiyentini toping.

Berilgan:

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

$$N=4 \cdot 10^{22} \text{ ta}$$

$$K=0,014 \text{ W/m} \cdot \text{grad}$$

$$i=5$$

$$C_V = \frac{i}{2} R = 20,8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$D=?$$

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:

$$D = \frac{KRV}{Nk \mu C_v} = \frac{0,014 \cdot 8,31 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 20,8} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

3-masala

100 °K < T < 600 °K harorat intervalida vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining haroratga bog'liqlik grafigini (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 λ , ρ , ν qiymatlarini qo'yib,

$$K = A \sqrt{T}$$

ekanligini topamiz, A – bu yerda doimiy kattalik.

Hisoblaymiz:

$$K_1 = 10^{-7}$$

$$K_2 = 14 \cdot 10^{-6}$$

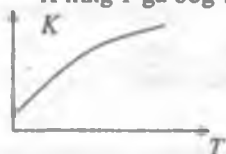
$$K_3 = 17,3 \cdot 10^{-6}$$

$$K_4 = 20 \cdot 10^{-6}$$

$$K_5 = 22,36 \cdot 10^{-6}$$

$$K_6 = 24,49 \cdot 10^{-6}$$

K ning T ga bog'liqlik grafigini chizamiz:



Mustaqil yechish uchun masalalar

Vodorodning ichki ishqalanish koeffitsiyentini $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ga tengligi ma'lum bo'lsa, shunday sharoitda uning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $K = 0,09 \text{ Vt}/\text{m}\cdot\text{grad}$.

10°C haroratda va $10^5 \text{ N}/\text{m}^2$ bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ ga teng deb olinsin.

Javob: $K = 13,2 \cdot 10^{-3} \text{ Vt}/\text{m}\cdot\text{grad} = 11,3 \cdot 10^{-3} \text{ kkal}/\text{m}\cdot\text{soat}\cdot\text{grad}$.

Vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining haroratga bog'lanish grafigi $100^\circ\text{K} \leq T \leq 600^\circ\text{K}$ intervalda 100^0 dan oralatib chizilsin.

Javob: issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti haroratga mutanosib ravishda ortadi.

$V = 2 \text{ l}$ hajmli idishda ikki atomli gazning $N = 4 \cdot 10^{23}$ ta molekulasini bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini $K = 0,014 \text{ Vt}/\text{m}\cdot\text{grad}$ ga teng. Shunday sharoitda gazning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Bir xil harorat va bosimda karbonot angidrid gazi va azot berilgan. Bu gazlar uchun: 1) diffuziya, 2) ichki ishqalanish va 3) issiqlik

o'tkazuvchanlik koeffitsientlarining nisbatlari topilsin. Bu gazlar sining diametrlari bir xil deb hisoblansin.

Javob: 1) 0,8; 2) 1,25; 3) 0,96.

Dyuar idishning devorlari orasidagi masofa 8 mm ga teng. Havosi so'rib olinayotganda, qanday bosimdan boshlab D'yuar idishning devorlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti kamayib boradi? Havoning haroratini 17°C ga, havo molekulasiining diametrini $3 \cdot 10^{-7}$ mm ga teng deb olinsin.

Javob: $p=0,0096$ mm. sim. ust.

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.

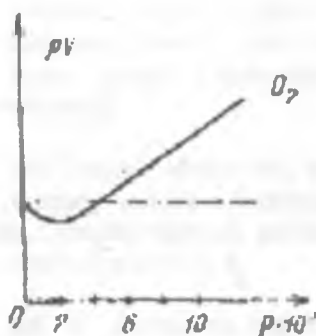
Rasmdan ko'rinadiki, bosim ortishi bilan pV – ko'paytma kamayib boradi va bosim taxminan $2 \cdot 10^7$ Pa ga yetganda eng kichik qiymatga erishib, bosim ortishi bilan yana orta boradi. Bosim taxminan $4 \cdot 10^7$ Pa bo'lganda tajriba natijasi ideal gaz uchun o'rinli bo'lgan pV ga tenglashadi.

Bosimni yanada ortirsak, 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.

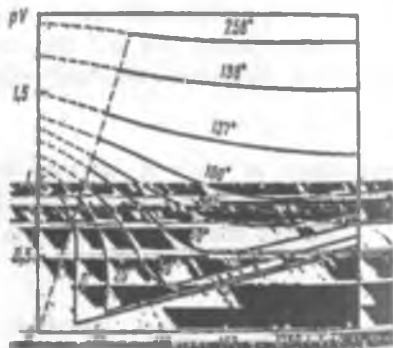
Bunga sabab nima? Bunga sabab ideal gaz deb qaralgan gazlarda gaz molekularining o'lchamligini va ular orasidagi o'zaro ta'simi hisobga olmaganlikdadir.

Ko'pchilik gazlar molekulasining radiusi $r=10^{-8}$ sm, demak, uning hajmi

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3 \approx 4 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^3$$



1-rasm. Kislorod izotermasi.



1 a-rasm. Karbonat angidrid gazi izotermalari.

Normal sharoitda 1 sm^3 hajmda taxminan $2,70 \cdot 10^{19}$ ta molekula bo'lib, bu molekulalarning 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 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 molekulalari shaxsiy hajmlari yig'indisidan kichik bo'la olmaydi, aniqrog'i gaz molekulalari shaxsiy hajmlari yig'indisidan katta bo'ladi, chunki molekulalar orasida o'zaro tortishish kuchidan tashqari o'zaro itarishish kuchi ham mavjuddir.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): ideal gaz, molekula radiusi, normal sharoit, Loshmidt soni, molekulaning umumiy hajmi, Boyle-Mariott qonuni, gaz bosimi, tortishish kuchi, itarishish kuchi.

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 mutanosib ravishda o'zgaradi. Dipol maydoni kuchlanganligi masofa kubiga mutanosib ravishda o'zgaradi. Ko'p atomli molekulalar o'zini dipol kabi emas, balki murakkab elektr sistema-kvadrupol kabi bo'ladi. Bunday sistema kuchlanganligi masofa ortishi bilan dipolga nisbatan tezroq o'zgaradi.

Ikki molekula orasidagi masofa 10^{-7} - 10^{-8} sm bo'lsa, ular orasida o'zaro tortishish va itarishish kuchlari mavjud bo'ladi. Xuddi mexanikadagi tortish kuchi va energiyadagidek molekulalar orasidagi tortishish kuchi manfiy, molekulalar orasidagi itarishish kuchlari musbat deb qabul qilindi. Shunga asosan tortilayotgan zaryadlar potensial energiyasi manfiy, itarilayotgan zaryadlar potensial energiyasi musbat bo'ladi.

Tortish kuchlarining masofaga bog'liqlik formulasi

$$F_1 = -\frac{A}{r^2} \quad (1)$$

Shuningdek, itarishish kuchlarining masofaga bog'liqlik formulasi

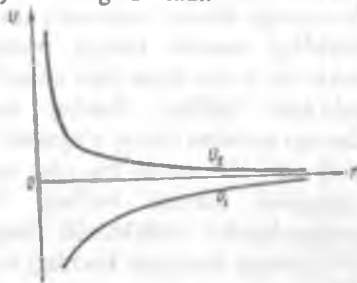
$$F_2 = \frac{A_1}{r^2} \quad (2)$$

Kulon qonuniga asosan xususiy hollarda nuqtaviy zaryadlar $X_1=X_2=2$ bo'ladi va (2) ifodalarni integrallab, potensial energiya qiymatlarini hosil qilamiz:

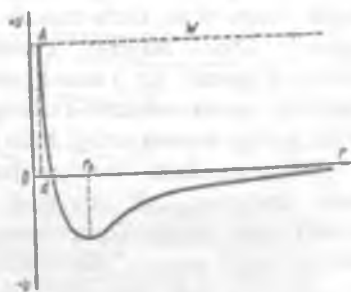
$$U_1 = -\frac{A}{r^{1-2}}, \quad U_2 = \frac{A_1}{r^{2-2}} \quad (3)$$

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). Ikki molekulan 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.

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 molekulaning kinetik energiya hisobiga bo'ladi.



2-rasm. Molekular tortishish va itarishish energiyalarining ular orasidagi masofaga bog'liqligi.



3-rasm. Molekular to'liq energiyasining ular orasidagi masofaga bog'liqligi.

Molekulalar 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 molekulalarining to'qnashish mexanizmi ideal gazlardagidek to'g'ri elastik to'qnashish emas, ya'ni real gaz molekulalari masofada o'zaro ta'sirlashadi

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlar, elektr kuchlar, elektr dipol, nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligi, dipol maydon kuchlanganligi, manfiy potensial energiya, musbat potensial energiya, masofa, kinetik energiya, potensial energiya, to'liq energiya, molekula markazlari orasidagi masofa, real gaz.

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 molekulalari orasida o'zaro itarishish kuchi borligini, ya'ni gaz molekulasining xususiy hajmini hisobga olish kerak. Agar bir mol gaz massasidagi molekulalarning xususiy hajmlari yig'indisini "b" bilan, gaz turgan idish hajmini V_μ bilan belgilasak, gaz molekulalari harakatlanishi mumkin bo'lgan hajm $V_\mu - b$ bo'ladi.

Ikkinchidan, gaz molekulalari orasidagi o'zaro tortishish kuchini hisobga olish kerak. Bunda gaz molekulalarining idish devoriga berayotgan bosimi kamayadi, boshqacha aytganda gaz molekulalari 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 dan p_1 ga katta bo'lib, real gaz bosimi $p + p_1$ 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

$$(p + p_1)(V_\mu - b) = RT \quad (2)$$

ga o'tamiz.

$$P_1 = Cn^2$$

bu yerda C – o'zgarmas kattalik

$$P_1 = C \frac{N^2}{V^2} = \frac{a}{V^2} \quad (2^*)$$

(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:

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

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 molekularining 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 xarakterini 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 ν uchun yozish qiyin emas. Agar gaz V hajmini egallasa, u holda molar hajm $\frac{V}{\nu}$ bo'ladi.

(2a) tenglamada V ni $\frac{V}{\nu}$ kattalik bilan almashtiramiz. Natijada:

$$\left(P + \frac{a\nu^2}{V^2} \right) \left(\frac{V}{\nu} - b \right) = RT \quad (4)$$

yoki

$$\left(p + \frac{av^2}{V^2}\right)(V - vb) = \nu RT \quad (5)$$

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Klapcyron-Mendeleyev tenglamasi, itarishish kuchi, tortishish kuchi, ideal gaz bosimi, real gaz bosimi, Van-der-Vaals tenglamasi, bosimga tuzatma, hajmga tuzatma, Van-der-Vaals gazlari.

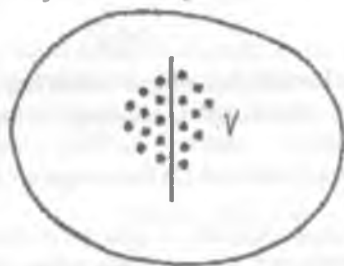
Gaz hajmiga tuzatmani hisoblash

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 mutanosib bo'lgan qandaydir b qismini yo'qotish kerak.

Sfera radiusi ta'sirlashayotgan ikki molekula radiuslari yig'indisi va ta'sirlashayotgan molekular 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. Molekular bosim kattaligini chiqarish uchun.

Bu yerda gazning bir jinsli tarkibi uchun $r_1 = r_2 = r$, V_0 - bitta molekula hajmi.

Koeffitsiyent $k = \frac{1}{2}$ 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'qnashishi kam holdir. Shunga asosan (1) ifodani ko'rinishi

$$b = 4nV_0 \quad (2)$$

bo'ladi.

Ichki bosim p , 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 $p_r \sim \rho$ zichlik hajmga teskari mutanosib ekanligidan

$$p_r \sim \rho^2 \sim \frac{1}{V^2}$$

yoki

$$p_r \sim \frac{a}{V^2}$$

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_1 va b larning qiymatlarini (2) formulaga qo'ysak,

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (3)$$

bo'ladi. (3) tenglama bir mol gaz uchun o'rinli bo'lib, V_m **hajm molar hajm** deb olinadi. Bu ifoda molar massasi μ 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 " kattaliklar jadvali keltirilgan:

6.1. jadval

Modda	$a, \frac{N/m^2}{kmol}$	$b, \frac{m^3}{kmol}$
Geliy	$0,035 \cdot 10^{-2}$	$23,9 \cdot 10^{-3}$
Vodorod	$0,248 \cdot 10^2$	$26,7 \cdot 10^{-3}$
Azot	$1,37 \cdot 10^2$	$38,6 \cdot 10^{-3}$
Kislород	$1,39 \cdot 10^2$	$31,6 \cdot 10^{-3}$
Karbonat angidrid	$3,66 \cdot 10^2$	$42,8 \cdot 10^{-3}$
Suv bug'li	$5,53 \cdot 10^2$	$30,4 \cdot 10^{-3}$

(3) ko'rinishdagi Van-der-Vaals tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$V_z^3 + (b - \frac{RT}{p})V_z^2 + \frac{a}{p}V_z - \frac{ab}{p} = 0 \quad (5)$$

Bu tenglama bosim va haroratning berilgan qiymatida hajmga nisbatan yechilsa, hajm uchta qiymatga ega bo'ladi. Bu uchta qiymatning hammasi haqiqiy son bo'ladi uchtdan bittasi haqiqiy bo'lib, ikkitasi mavhum bo'ladi.

Hajmning bu mavhum qiymatlari fizik ma'noga ega bo'lmaydi, shuning uchun bu qiymatlar bizni qiziqtirmaydi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): haqiqiy hajm, hajmga tuzatma, molekulalar soni, ikkita molekula bilan to'qnashish, uch va undan ortiq molekula bilan to'qnashish, ichki bosim, tortishish kuchi, molekulalar soni, gaz zichligi, molar hajm, Van-der-Vaals tuzatmalari.

Real gazlar uchun nazariy va eksperimental izotermalar

Van-der-Vaals tenglamasida haroratni o'zgarmas deb hisoblasak va bosimga har xil qiymatlar berib,

$$V_z^3 + (b - \frac{RT}{p})V_z^2 + \frac{a}{p}V_z - \frac{ab}{p} = 0$$

tenglamani hajmga nisbatan yechib, bosim va hajm o'rtasidagi munosabatni grafik ravishda ifodalasak, bu grafik real gazlar uchun nazariy izoterma hisoblanadi.

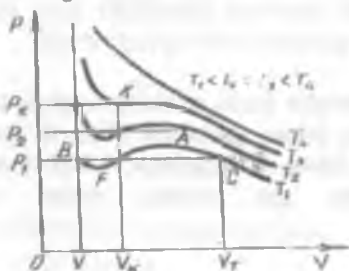
Hisoblashlar ko'rsatadiki, nazariy izotermaning ko'rinishi izoterma qaysi harorat uchun chizilayotganiga bog'liqdir.

Haroratning har xil qiymatlari uchun chizilgan nazariy izotermalar 5-rasmida 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" buriilish nuqtasini hosil qiladi. T_4 haroratga mos keluvchi izoterma Mendeleyev-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 izotermalari eslatadi.

Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, T_1 dan yuqori haroratlarda real gazni ideal gaz deb qarasa bo'lar ekan. S simon qism o'rniga buriilish nuqtasiga ega bo'lgan T_3 haroratga mos keluvchi izotermanni **kritik izoterma**, kritik izoterma hosil bo'layotgan haroratni **kritik harorat** deyiladi. Buriilish 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 chiziqli kesma uzunligi kamayib boradi va nihoyat kritik izotermada bu kesma o'rniga buriqish 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_f ga to'g'ri keluvchi izotermadan) gaz harorati T_f , bosimi p_f 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 ($T_f > T_f$) 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 gorizontal 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Van-der-Vaals tenglamasi, bosim va hajm orasidagi munosabat, real gazlar, nazariy izotermalar, kritik izoterma, kritik harorat, kritik bosim, kritik hajm, to'yingan bug', to'yingan bug' elastikligi, dinamik muvozanat, to'yingan bug' hajmi, kritik holat, o'ta to'yingan bug', o'ta qizigan suyuqlik, cho'zilgan suyuqlik.

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 Mendeleyev tomonidan kiritilgan bo'lib, Mendeleyev bu haroratni absolut qaytish harorati deb atadi.

Kritik harorat to'g'risidagi shunday fikrga keyinchalik rus fizigi A.G.Stoletov ham keldi.

Endryus o'tkazgan tajribalar Mendeleyev 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 ($T_k=647^\circ\text{K}$).

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'ratib 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.

Birinchidan, suyuqlik harorati ortishi bilan suyuqlik hajmi kengayganidan menisk ko'tarilishi kerak.

Ikkinchidan, 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.

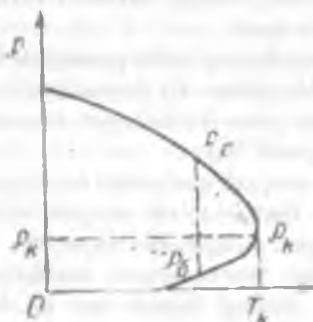
Agar ikkinchi omil (bug'lanish) asosiy rol o'ynasa, bug'lanish natijasida suyuqlik hajmi kamayib boradi va harorat kritik haroratga yetmasdan suyuqlik to'la ravishda bug'ga aylanadi. Faqat suyuqlikning

hajmi aniq qiymatga ega bo'lgandagina menisk kritik haroratgacha o'zgaras 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 $\left(\frac{\Delta\rho_l}{\Delta T}\right)$ to'yingan bug' zichligining o'zgarishi - ortishi $\left(\frac{\Delta\rho_g}{\Delta T}\right)$ dan absolut 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'zgarmas 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 koeffitsiyentlar 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

$$T_k=\frac{8a}{27Rb}; \quad V_k=3b; \quad p_k=\frac{a}{27b^2} \quad (10)$$

yoki

$$a=3V_k^3p_k; \quad b=\frac{V_k}{3}; \quad R=\frac{8V_kp_k}{3T_k} \quad (11)$$

ekanini ko'rsatish mumkin.

Kritik parametrlar qiymatlari

Modda	T_{kr}, K	$p_{kr}, 10^5 Pa$	6.2. jadval $V_{kr}, 10^{-3} kg/m^3$
Vodorod	33,2	13,29	32,26
Azot	126,0	33,93	3,22
Kislorod	164,3	50,34	2,32
Xlor	417,1	77,08	1,75
Suv bug'i	647,25	220,53	2,50

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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): moddaning gaz va suyuq holati, kritik holat, kritik harorat, Mendeleyev, kritik parametrlar, suvning kritik harorati.

Real gazlarning ichki energiyasi

1. Ideal gaz molekulalari o'zaro ta'sirlashmaganligi uchun ideal gaz potensial energiyaga ega bo'lmaydi. Shuning uchun ideal gazning ichki energiyasi molekulalar ilgarillanma va aylanma harakati kinetik energiyalari yig'indisidan iborat va gaz haroratiga bog'liq.

Real gazlarda molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir e'tiborga olingani bois, gazning ichki energiyasi uning molekulalari 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 $T = \text{Const}$ 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 molekulalararo tortishish kuchlari-gaz sirt qatlamining qolgan massasiga ta'sir qiluvchi

$$p_r = \frac{a}{V^2}$$

molekular bosimni keltirib chiqaradi.

Molekulalararo Van-der-Vaals kuchlari bilan bog'liq bo'lgan molekulalarning o'zaro ta'sir potensial energiyasini e'tiborga olsak;

$$U = \int p_r dV$$

Agar p qiymatini o'rniga qo'ysak

$$U = \int \frac{adV}{V^2} = -\frac{a}{V} + Const$$

yoki

$$\int P_r dV = \int \frac{a}{V^2} dV = -\frac{a}{V} + \frac{a}{V_1} = -\frac{a}{V} + Const$$

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.

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_T - P \quad (1)$$

Van-der-Vaals tenglamasidan

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

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'zgarmas 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

$$U = C_V T - \frac{a}{V} \quad (7)$$

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): ideal gaz, potensial energiya, ilgarilanma va aylanma harakat kinetik energiyasi, ichki energiya, real gazlar, issiqlik harakati kinetik energiyasi, o'zaro ta'sir potensial energiyasi, harorat, hajm, molekular bosim, Van-der-Vaals kuchlari, Van-der-Vaals gazlari, o'zgarmas hajmda gazning issiqlik sig'imi, Van-der-Vaals gazining issiqlik sig'imi.

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 molekular 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 molekular orasidagi ilashish kuchlarini yenganda 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

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{a}{C_V} \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$$

bu yerda T_1 va V_1 – gaz hajmi kengayishidan oldingi harorat va hajm, T_2 va V_2 – mos ravishda gaz hajmi kengayigandan keyingi harorat va hajm.

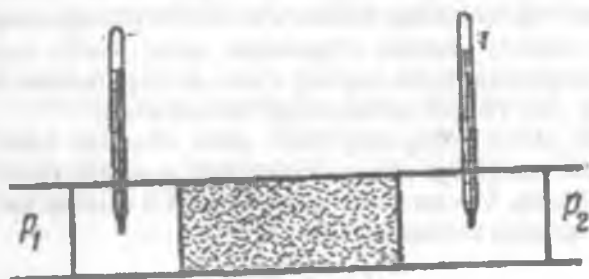
Agar $V_2 > V_1$ bo'lsa, farq manfiy, bunda albatta, haroratlar farqi ham manfiy bo'ladi. Bu gazning bo'shliqda kengayishida uning sovishini bildiradi. Ayrim hollarda kengayayotgan gaz harorati oshishi ham mumkin.

Bu hodisani Joule va Thomson tajribasida ko'ramiz.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): real gaz, real gazning kengayishi, ish, ichki energiya, haroratning pasayishi, energianing saqlanish qonuni, haroratning o'zgarishi, gazning kengayishi, haroratning oshishi.

Joul-Tomson hodisasi

Joul va Tomson tajribani quyidagicha o'tkazgan. Adibatik qatlamli trubkada paxtali 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 trubkanining bir tomonidan ikkinchi tomoniga o'tadi. Tiqinning har ikki tomoniga termometr, joylashtirib Joul-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. Joul-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 $A_2 = P_2 V_2$ ishini 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 ichki energiyalari. 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 $P_1 > P_2$.

ΔU 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, ΔU 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 molekulalari hajmi va o'zaro ta'siri mavjud deb qaraymiz. Van-der-Vaals tenglamasidan P_1 bosimni quyidagicha ifodalaymiz:

$$P_1 = RT_1 \frac{1}{V_1 - b} - \frac{a}{V_1^2} \quad (7)$$

(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, Mendeleyev-Klapeyron 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,

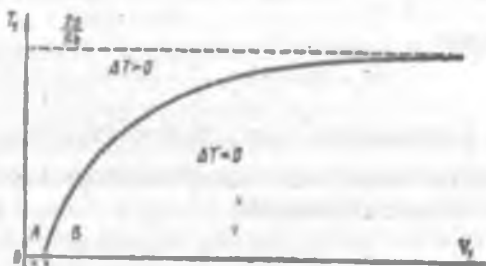
$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{C_p} \left(RT_1 \frac{1}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} \right) \quad (10)$$

ΔT ning ishorasi qavsdagi ifoda ishorasi bilan aniqlanadi. Bu ifodani $V_1 T_1$ tekislikda Joule-Tomson hodisasining musbat yoki manfiy oblastga ajratuvchi biror egrilik tenglamasi deb qarash mumkin. Ifodadagi qavslarni nolga tenglashtirib quyidagi tenglamani olamiz:

$$T_1 \frac{V_1}{V_1 - b} = \frac{2a}{Rb} \quad (11)$$

bu tenglama grafigi (8-rasm) da tasvirlangan. Egrilikning yuqori oblasti manfiy Joule-Tomson hodisasiga ($\Delta T > 0$), egrilikning quyi oblasti musbat Joule-Tomson hodisasiga ($\Delta T < 0$) mos tushadi. Egrilikning o'ziga to'g'ri keluvchi nuqtalarda **Joule-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°K , kislorod uchun 1063°K , karbonat angidrid gazı uchun 2073°K va hokazo.

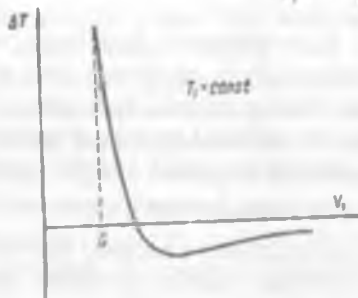


8-rasm. Joul-Tomson hodisasi chegaralari (oblasti).

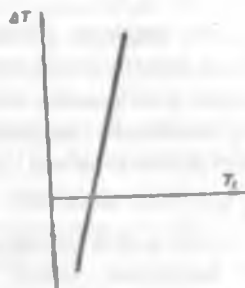
(8-rasm) dan ko'rinadiki, gazning kichik boshlang'ich solishtirma hajmidan A nuqta kengaytirib borilsa, u holda Joul-Tomson hodisasi juda kichik boshlang'ich haroratlarda ham manfiy, gaz isiydi.

Boshlang'ich hajmning oshishi (B nuqtaga o'tish) hodisa ishorasini o'zgartiradi. Ya'ni gaz kengayganda soviydi. ΔT 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 ΔT ning boshlang'ich V_1 hajmga bog'liqligi ko'rsatilgan. Boshlang'ich hajmni topishda (hunda 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 ΔT ning boshlang'ich T_1 haroratga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Ma'lumki, eng yuqori sovishni past boshlang'ich haroratlarda olish mumkin.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Joule va Tomson tajribasi, ish, energiyaning saqlanish qonuni, gaz harorati, gazning ichki energiyasi, gazning isishi va sovishi, musbat Joule-Tomson hodisasi, manfiy Joule-Tomson hodisasi, inversion harorat, vodorod, kislorod, karbonat anhidrid, ideal gaz.

Past haroratlarni olish

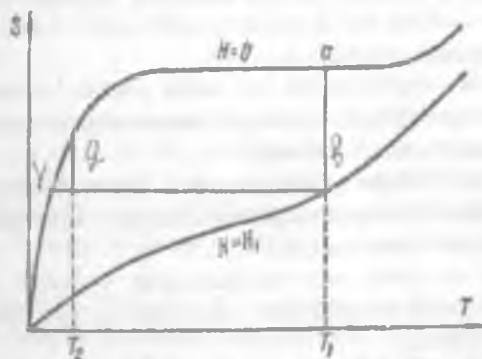
Amalda 200°K va undan past haroratlarni olish sanoatda va moddaning fizik xossalarini o'rganishda katta ahamiyatga ega.

Qattiq karbon kislotasi 195°K, qaynayotgan suyuq azot 78°K, qaynayotgan vodorod 20°K, qaynayotgan geliy 4,19°K harorat berishi mumkin.

Qaynayotgan suyuqliklar bosimi kamaytirilsa, bu haroratlardan 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°K haroratni olish mumkin va bu usulda undan past haroratni olish mumkin emas.

Adiabatik magnitlanish usuli yordamida 0,001°K harorat hosil qilish mumkin.



11-rasm. Adiabatik magnitlanishda sovitish.

Bu usul paramagnit tuzi entropiyasining magnit maydon 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.

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 $20-15000 \frac{A}{m}$ da entropiya magnit maydon bo'lmagan holdagidan ham kichik qiymat oladi.

Namunaga magnit maydon ta'sir etib geliyli 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 sovutishning issiqlik effekti juda yuqori.

Adiabatik magnitlanishda bir necha gramm kvarsni qo'shish yo'li bilan bir necha kilogramm diamagnit moddani haroratini $1^\circ K$ dan o'ta past $10^{-3}^\circ K$ gacha tushurish mumkin.

Yuqorida ko'rilgan prinsipga asosan, Dount Karno siklida ishlovchi davriy ta'sir etuvchi magnit mashinasini yaratdi va bu mashinada $1^\circ K$ dan $0,25^\circ K$ gacha past harorat olinadi.

Magnit momentga ega bo'lgan atom yadrolari sistemasini o'ta murakkab adiabatik magnitlanish jarayonini qo'llash bilan $10^{-5} + 10^{-6}^\circ K$ harorat hosil qilinadi.

Bu usulda $10^{-7}^\circ K$ past harorat olish mumkin.

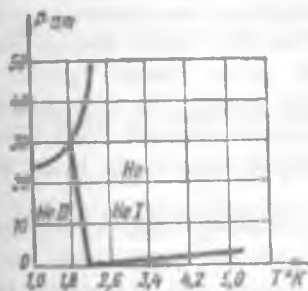
O'ta past haroratlarni o'lchash juda murakkab. Absolut shakaladan bir necha gradusni va undan yuqori haroratni qarshilik termometri va termopara yordamida o'lchash mumkin.

O'ta past harorat paramagnit qabul qiluvchanlikning haroratga bog'liqligidan topiladi (Kyuri qonuni).

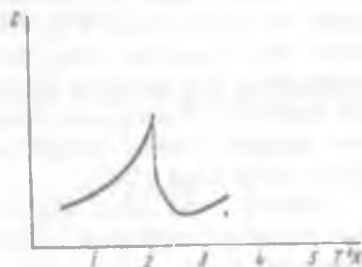
Tayanch iboralar (kalit so'zlar): past harorat, karbon kislotasi, suyuq azot, vodorod, geliy, bosimni pasaytirish, adiabatik magnitlanish, paramagnit tuz, entropiya, maydon kuchlanganligi, izotermik jarayon, issiqlik miqdori, adiabatik jarayon, Kyuri qonuni.

Suyuq geliy xossalari. O'ta oquvchanlik

Geliy uchun kritik harorat $5,2^{\circ}\text{K}$ va atmosfera bosimi ostida qaynash harorati $4,215^{\circ}\text{K}$. 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.



12-rasm.



13-rasm. Geliyning issiqlik sig'imida nuqtasi.

Geliyning eng ajoyib xossasi shundaki, $2,19^{\circ}\text{K}$ haroratda boshqa modifikatsiyaga, ya'ni geliy II ga o'tishidir. Holat diagrammasi (12-rasm)da keltirilgan). Bu o'tish II tur fazoviy o'tish bo'lib, unda issiqlik sig'imi keskin ortadi (13-rasm). O'tishning bunday harorati *lyumda nuqta* deyiladi. Geliy II ning hayratga qoldirarli xossasi shundaki, u o'ta oquvchandir.

O'ta oquvchanlik 1938-yilda P. L. Kapitsa tomonidan ochildi va 1941-yilda L. D. Landau tomonidan tushunilgan. 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. L. D. Landau tomonidan o'ta oquvchanlik hodisasiga berilgan tushuncha shundaki; absolut 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 absolut 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'lqin siqilishi bilan ikkinchisi harorat bilan bog'liq bo'ladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): geliy, kritik harorat, sovuq suyuqlik, past harorat, o'ta o'tkazuvchanlik, geliy II, o'ta oquvchanlik, Kapitsa, Landau, qovushqoqlik, II tur fazoviy o'tish, kvant hodisa, kvant suyuqlik, tovush, tovushning tarqalish tezligi, harorat.

MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

1-masala

2 atm bosim ostida 820 sm^3 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 sm³ 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:

$$1. T = \frac{\mu P V}{m R} = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 281 \text{ K}$$

$$2. T = \frac{\mu}{M R} \left(P + \frac{a M^2}{\mu^2 V^2} \right) \left(V - \frac{M}{\mu} b \right) =$$
$$= \frac{32 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{-3}} \left(28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 + \frac{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2}{(32 \cdot 10^{-3})^2 (0,9 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left(0,9 \cdot 10^{-4} - \frac{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,16 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \right) = 289 \text{ K}$$

3-masala

Massasi 10 g bo'lgan geliy 10⁸ Pa bosim ostida 100 sm³ hajmni egallaydi. Haroratini toping. 1. Ideal gaz uchun, 2. Real gaz uchun.

Berilgan:

$$P=10^8 \text{ Pa}$$

$$V=100 \text{ sm}^3=1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M=10 \text{ g}=1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\mu=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$a=3,43 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^4/\text{kmol}^2$$

$$b=2,34 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$T_{\text{ideal}}=?$$

$$T_{\text{real}}=?$$

Masalaning yechilishi:

Yuqoridagi masalaga asosan, kislorodning haroratini ideal va real gazlar uchun hisoblaymiz:

$$1. T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 8,31} = 482 K$$

$$2. T = \frac{\mu}{MR} \left(P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left(V - \frac{M}{\mu} b \right) =$$

$$= \frac{4 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-2}} \left(1 \cdot 10^4 + \frac{3,43 \cdot 10^{-7} \cdot (1 \cdot 10^{-2})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2 (1 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left(1 \cdot 10^{-2} - \frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 2,34 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} \right) = 204 K$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

2 atm bosimda 820 sm³ hajmdagi 2 g azotning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

Javob: 1) $T=280^0 K$; 2) $T=280^0 K$.

28 atm bosimda 90 sm³ hajmdagi 3,5 g kislorodning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

Javob: 1) $T=281^0 K$; 2) $T=289^0 K$.

10⁸ N/m² bosimda 10 g geliy 100 sm³ hajmni egallaydi. Gazni: 1) real hisoblab, uning harorati topilsin.

Javob: 1) $T=482^0 K$; 2) $T=204^0 K$.

100⁰C haroratda 1 kmol karbonat angidrid gazi berilgan. Gazni: 1) ideal va 2) real hisoblab, uning bosimi topilsin. Masala: a) $V_1=1 m^3$ va b) $V_2=0,05 m^3$ hajmlar uchun yechilsin.

Javob: 1) a) $p=2,87 \cdot 10^6 N/m^2$ va b) $2,73 \cdot 10^8 N/m^2$; 2) a) $p=3,09 \cdot 10^6 N/m^2$ va b) $6,18 \cdot 10^7 N/m^2$.

$V=0,5 m^3$ hajmli yopiq idishda $3 \cdot 10^6 N/m^2$ bosimda 0,6 kmol karbonat angidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun haroratni necha marta orttirish kerakligi topilsin.

Javob: 1,85.

$t=27^0 C$ haroratda va $p=10^7 N/m^2$ bosimda 1 kmol kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazni hajmi topilsin.

Javob: $V=231 l$.

$t=27^0 C$ va $p=5 \cdot 10^6 N/m^2$ bosimda 1 kmol azot bor. Berilgan sharoitda azotni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.

Javob: $V=0,49 m^3$.

Kislorod uchun kritik kattaliklar T_k va P_k ni ma'lum deb, kislorod molekulasiining effektiv deametri topilsin.

Javob: $\sigma = -2,94 \text{ \AA}$.

Azot sinig effektiv diametrini ikki xil usul: 1) normal sharoitda berilgan o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligining $\lambda = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$ qiymatidan, 2) Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiysining berilgan qiymatidan topilsin.

Javob: 1) $\sigma = 3 \text{ \AA}$; 2) $\sigma = 3,1 \text{ \AA}$.

Normal sharoitda karbonat angidrid gazi molekulasiining o'rtacha erkin yugurish yo'lining uzunligi topilsin. Karbonat angidrid gazi uchun T_k kritik harorat va P_k kritik bosim ma'lum deb, molekulasiining effektiv diametri hisoblansin.

Javob: $\bar{\lambda} = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

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 molekulari orasidagi masofa ularning o'lchamligiga nisbatan juda katta bo'lib, zichligi kichik va siqiluvchan bo'ladi, ya'ni *gaz molekulari orasidagi o'zaro tortishish kuchi kichik bo'lganligidan u o'zi solingan idish hajmini to'la egallaydi va idish shaklini oladi.*

Suyuqlik molekulari esa bir-biriga juda yaqin joylashgan bo'lib, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi gaz molekulari orasidagi o'zaro ta'sir 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 molekular betartib harakatda bo'lsa, qattiq jismlarda molekular o'z muvozanat holati atrofida faqat tebranma harakat qiladi, ya'ni qattiq jism molekularini joylashishida aniq tartib mavjuddir.

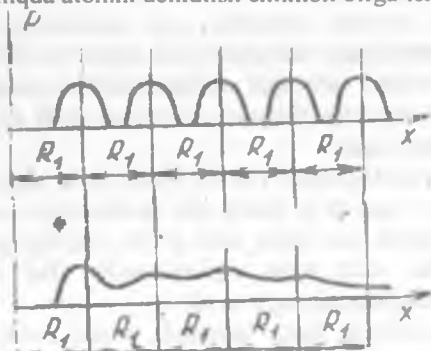
Suyuqlik molekulari qattiq jism molekulari kabi zich joylashgan bo'lsa-da, uning o'z hajmini o'zgartirishi suyuqlik molekularini (gaz molekularidek bo'lmasa-da) ozmi-ko'pmi bir-biriga nisbatan erkin harakat qilishini ko'rsatadi.

Shunday qilib, gaz holati (molekular erkin harakati) bilan qattiq holat (molekular muvozanat holati atrofida tebranadi) oralig'idagi modda holati suyuq holatdir.

Yuqorida aytilgan fikrlarning to'g'riligini suyuqliklarning rentgen strukturasini 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-rasmida 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, kristalda 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 kristaldagi 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 , 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 hetartib bo'ladi.

Suyuqlik molekulari qattiq jism molekulari kabi qandaydir muvozanat holati atrofida tebranadi. Lekin bu tebranish o'rni miqdor bo'lmay ma'lum τ 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" o'rindun "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 τ_0 desak, shu o'rinda-tebranish (o'troqlik) vaqti

$$\tau = \tau_0 v^{1/7} \quad (1)$$

bo'ladi.

τ – 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} Hz bo'lib, o'z o'mida taxminan 10^6 marta tebranib boshqa o'ringa sakraydi.

Bu sakrashlar har sekunda 10^5 - 10^6 marta bo'ladi. Harorat pasayishi bilan bu sakrashlar soni kamayib, suyuqlik yopishqoq bo'lib qoladi.

Tajribalar ko'rsatadiki, suyuqliklarning hajmiy kengayish ko'effitsiyenti gazlarnikiga nisbatan kichik bo'lib, xarakterli tomoni shundaki, bosim ortishi bilan hamma suyuqliklar uchun bu ko'effitsiyent 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 ko'effitsiyenti 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 molekulalarni alohida energetik holatda bo'lishidir.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): moddaning agregat holati, holat parametri, molekulalar orasidagi o'zaro tortishish kuchi, xususiy hajm, xususiy shakl, gaz, suyuq, qattiq, masofa, betartib harakat, potensial energiya, tebranish davri, relaksatsiya vaqti, harorat, kritik harorat, chastota, yopishqoqlik.

Suyuqliklarning issiqlikdan kengayishi

Suyuqlik qizdirilganda uni tashkil etgan molekulalarning xaotik harakat o'rtacha kinetik energiyasi oshadi. Buning natijasida molekulalar orasidagi masofa oshib, suyuqlikning hajmini oshishiga olib keladi. Suyuqliklarning issiqlikdan hajmiy kengayishi xuddi qattiq jismlarnikidek hajmiy kehgayishning harorat ko'effitsiyenti bilan tavsiflanadi va issitilgan suyuqlik hajmi quyidagi formula orqali topiladi:

$$V = V_0(1 + \beta \Delta T) \quad (1)$$

bu yerda V_0 – qizdirilgunga qadar suyuqlik hajmi, V – qizdirilgandan keyin suyuqlik hajmi, $\Delta T = T - T_0$, bunda T_0 – qizdirilgunga

qadar suyuqlik harorati, T – qizdirilgandan keyin suyuqlik harorati, β – hajmiy kehayishning harorat ko'effitsiyenti.

Agar (1) formuladan β ni topsak:

$$\beta = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta V}{V_0}$$

bo'ladi.

Demak, β suyuqlik hajmining kehayishi $\frac{\Delta V}{V_0}$ ning haroratning o'zgarishi ΔT ga nisbatiga teng ekan, ya'ni *suyuqlikning harorati 1 K ga o'zgarganda uning hajmi boshlang'ich hajmining qancha qismiga o'zgarganligini ko'rsatadi.*

Suyuqliklarning issiqlikdan kengayish ko'effitsiyenti (β) ning son qiymatlari harorat va bosimga bog'liqdir. Bir xil harorat va bosimlarda turli suyuqliklarning issiqlikdan kengayish ko'effitsiyenti β keskin o'zgaradi.

Masalan, 20°C 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 $\beta=1050 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$, glitscrin uchun $\beta=53 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$ va hokazo. Haroratning teng oshishi bilan β tez oshadi.

Karbonat kislota uchun *harorat 0°S dan 20°C ga ko'tarilganda*, issiqlikdan kengayish ko'effitsiyenti β 2 marta ortadi. Bosimning oshishi esa issiqlikdan kengayish ko'effitsiyenti β ni qiymatini bir qadar kamaytiradi. Suv anomal issiqlikdan kengayishga ega.

Haroratning 0°C dan $3,98^\circ\text{C}$ gacha intervalida issiqlikdan kengayish ko'effitsiyenti β manfiy qiymat oladi: Isitish vaqtida suvning hajmi kamayib, $3,98^\circ\text{C}$ 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.

$$t_{\text{max}} = 3,98 - 0,0225 \quad (1)$$

Bu yerda P – bosim, atmosferalarda o'laniladi. Suvning anomal kengayishining sababi shundaki, suv molekulasining tarkibi har xil bo'ladi. Faqat N_2O emas, balki $2\text{N}_2\text{O}$ va $3\text{N}_2\text{O}$. Bu molekullarning nisbiy miqdori harorat va bosimga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Quyidagi jadvalda 20°S da ba'zi suyuqliklarning hajmiy kengayishining harorat ko'effitsiyenti keltirilgan:

7.1. jadval		
<i>T/r</i>	<i>Suyuqlik</i>	$\beta, 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
1	Suv	208
2	Glitserin	505
3	Simob	181
4	Benzin	1100
5	Kerosin	900
6	Benzol	1237
7	Atseton	1487

Quyidagi jadvalda esa suvning har xil haroratlarda hajmiy kengayishining harorat koeffitsiyenti keltirilgan:

7.2. jadval		
<i>T/r</i>	<i>Suv harorati, °C</i>	$\beta, 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
1	3	-15
2	4	0
3	5	17
4	10	95
5	20	208
6	30	300
7	40	390
8	50	460
9	60	530
10	80	630
11	90	700
12	100	750
13	150	1030

Ma'lumki, zichlik $\rho = \frac{m}{V}$ formula orqali topiladi. Demak, suyuqlik isitilganda uning hajmi ortadi va uning zichligi esa kamayadi.

Suyuqlik zichligi o'zgarishining haroratga bog'liqligini quyidagicha topamiz, ya'ni (1) formulada V ning o'miga $v = \frac{m}{\rho}$ ni qo'yamiz va

$$\frac{m}{\rho} = \frac{m}{\rho_0} (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

yoki

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1 + \beta \cdot \Delta T)}$$

bo'ladi.

Turmushda va texnikada suyuqliklarning issiqlikdan kengayishini albatta, e'tiborga olish zarur. Masalan, yopiq idishda saqlanadigan suyuqlik qizisa, potlashni yuzaga keltirishi mumkin va hokazo.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): susyuqlik hajmi, harorat, issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti, kalloriya, suyuqlik zichligi.

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 molekular og'irligiga bog'liq bo'ladi, ya'ni molekular strukturasiga. Issiqlik sig'imi nazariyasiga asosan suyuqlikning molekular 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 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$ molekulasiga 18 ta atomdan iborat bo'lib, C_m molekular issiqlik sig'imi $203 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{grad}}$ ga yoki skipidar molekulasiga 26 ta atomdan iborat va

$$C_m = 285 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{grad}}$$

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 – koeffitsiyentlar bir sinf suyuqliklari uchun bir xil, masalan, spirt, efir va hokazo.

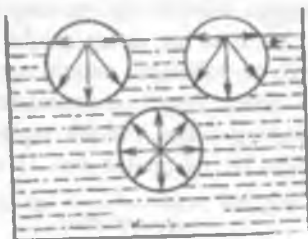
Tayanch iboralar (kalit so'zlar): modda, qattiq va suyuq faza, issiqlik sig'imi, suyuqliklarning issiqlik sig'imi, organik suyuqlik, amil spirt, skipidar, harorat, koeffitsiyentlar.

Sirt qatlam. Sirt taranglik

Suyuqlik ichidagi har bir molekula o'zini o'rab olgan boshqa molekulalar 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 tanlagan molekulaga shu sfera ichida yotgan hamma molekulalar bilan o'zaro ta'sirlashadi.

Ana shu sferadan tashqarida yotgan molekulalar 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 molekulalar ta'sir qilsa, bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'lmaydi. Chunki ta'sir sferasining ustki yarim qismida bug'dagi molekulalar sonidan, pastki qismida suyuqlikdagi molekulalar 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 molekulalar 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 / uzunlikka teng kesmani olaylik. Bu kesmani ikki tomoniga joylashgan

molekulalar 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

$$F = \sigma l \quad (1)$$

ga teng bo'ladi.

Bu yerda σ – sirt taranglik koeffitsiyenti deb ataladi.

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (2)$$

Sirt taranglik koeffitsiyenti suyuqlik sirtida olingan kesmani to'g'ri yoki egriligiga bog'liq emas.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): molekula, o'zaro ta'sir, masofa, ta'sir kuchi, ta'sir sferasi, ta'sir etuvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi, sirt taranglik kuchi, sirt taranglik koeffitsiyenti.

Suyuqlik sirt qatlami energiyasi

Sirt taranglik koeffitsiyentiga 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.

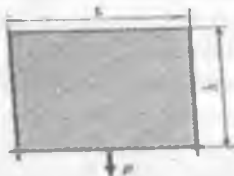
Sovunli plyonka o'z sirtini qisqartirishga intiladi va shuning uchun to'siqni yuqoriga ko'taradi. Bunda vertikal yo'nalgan F sirt taranglik kuchi, σ sirt taranglik koeffitsientining $2 \cdot l$ uzunlikka ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Bu yerda l ramkaning eni. Uzunlik ikkilanganligiga sabab shuki, plyoka 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 Δh 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

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}$$

(1)

Demak, *sirt taranglik koeffitsiyenti* – birlik suyuqlik sirtini hosil qilish uchun sarflangan ish yoki bu kattalik suyuqlik birlik qatlamining erkin energiyasidir.

(1) formuladan ko'rinadiki, sirt taranglik koeffitsiyentining 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 potentsial 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 koeffitsiyenti 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 koeffitsiyenti σ 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 koeffitsiyenti katta oraliqlarda o'zgaradi. Suv uchun $\sigma = 73 \cdot 10^{-5}$ N/sm, sovunli eritma uchun $\sigma = 45 \cdot 10^{-5}$ N/sm, efir uchun $\sigma = 23 \cdot 10^{-5}$ N/sm, eritilgan tuzlar uchun $\sigma = 10^{-3}$ N/sm eritilgan metallar uchun $\sigma = 10^{-2}$ N/sm masalan, erigan platina uchun $\sigma = 1,7 \cdot 10^{-3}$ N/sm bo'ladi.

Siqilgan gazlar uchun σ katta emas, masalan: suyuq azot uchun $\sigma=8 \cdot 10^{-5}$ N/sm. Har xil suyuqliklar uchun σ ning qiymati 1 dan 2000 gacha bo'ladi.

Sirt taranglik kuchining asosiy xossaligidan biri suyuqlik sirtini qisqarishiga intilishidir. Bunda *suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi, agar og'irlik kuchi to'sqinlik qilmasa*. Og'irlik kuchi ta'sirini yo'qotish uchun suyuqlik boshqa bir xil zichlikdagi suyuqlikka solinadi. Bunda solingan suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi.

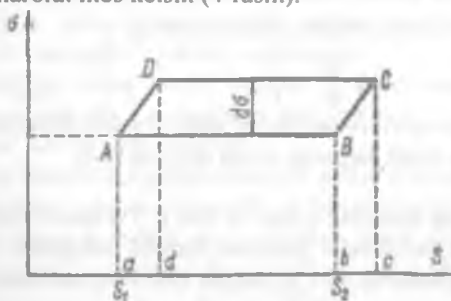
Tayanch iboralar (kalit so'zlar): sirt taranglik kuchi, sirt taranglik koeffitsiyenti, tortishish ishi, sirt, issiqlik miqdori, sirtning erkin energiyasi, suv, sovunli eritma, efir, eritilgan tuz, eritilgan metall, gaz, suyuq azot, sfera, og'irlik kuchi.

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 Kamo siklini bajarishga majbur qilamiz.

Plyonkani boshlang'ich holati σS koordinatada A nuqtada tasvirlanib, unga T harorat mos kelsin (4-rasm).



4-rasm. Sirt taranglik koeffitsiyentining haroratga bog'liqligini aniqlash uchun.

Plyonkani izotermik tortib $\Delta S=S_2-S_1$ yuzga o'sishini hosil qilamiz va buning uchun ΔQ issiqlik miqdori sarflansin. Bu holda bajarilgan ish $dA=\sigma \Delta S$; plyonkani yangi holati B nuqtada tasvirlangan. Rasmda bu ish ABS_1S_2 yuzada tasvirlangan. Izotermik tortilishda sirt taranglik

koeffitsiyenti qiymati o'zgarmaydi. Plyonka B holatga o'tganda uni adiabatik tortamiz.

Cheksiz kichik tortilishda suyuqlik harorati dT kattalikka kamayadi va sirt taranglik koeffitsiyenti $d\sigma$ 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 yuza) 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 formulasini 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 koeffitsiyenti kamayadi va kritik nuqtada nolga teng bo'ladi.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Termodinamikaning II qonuni, Karno sikli, izotermik jarayon, issiqlik miqdori, F.I.K., ishora, ish, haroratning oshishi, sirt taranglik koeffitsiyentining kamayishi, kritik nuqta.

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. σ_{12} – ikki suyuqlik chegarasida, σ_{13} – birinchi suyuqlik va havo chegarasida, σ_{23} – ikkinchi suyuqlik va havo chegarasida. σ_{12} va σ_{23} kuchlar tomchini siqib, uning sirtini kamaytirishga, ya'ni shaklini sferaga yaqinlashtirishga intilsa, σ_{13} kuch esa, aksincha, tomchini cho'zishga intiladi. Agar σ_{12} va σ_{13} kuchlar proeksiyasining yig'indisi gorizontal sirtida σ_{13} kuchga teng bo'lsa, u holda **tomchi muvozanatda** bo'ladi. Agar σ_{13} kuch σ_{12} va σ_{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.

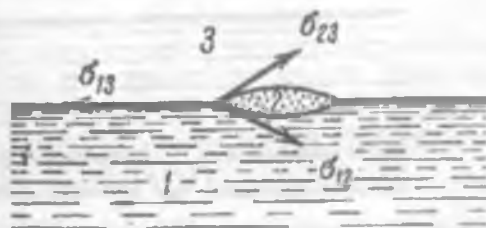
Faraz qilaylik, qattiq jism suyuqlikning gorizontal sirti bilan A nuqtada tegib turgan bo'lsin. A nuqtada turgan suyuqlik molekulasiga uchta kuch ta'sir qiladi.

f_1 kuch suyuqlik bug' chegarasida hosil bo'ladi, suyuqlik sirtiga urinma bo'ylab yo'nalgan, u suyuqlik sirt taranglik koeffitsiyenti σ_{ab} orqali aniqlaniladi. f_2 kuch qattiq jism suyuqlik chegarasida vertikal pastga yo'nalgan bo'lib, sirt taranglik σ_{qa} bilan aniqlaniladi.

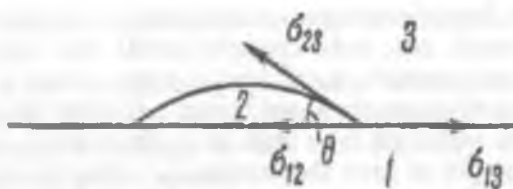
Suyuqlik berilgan qattiq jismni ho'llash yoki ho'llamasligi f_2 va f_3 demak, σ_{qa} bilan σ_{qb} o'rtasidagi muosabatga bog'liqdir.

Bunda ikki xil hol bo'lishi mumkin:

1) $\sigma_{qb} > \sigma_{qa}$, 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'llamovch suyuqlik tomchisi boshqa suyuqlik sirtida.



6-rasm. Ho'llovchi suyuqlik tomchisi qattiq jism sirtida.

Suyuqlik molekulasini harakati to'xtashi uchun muvozanat bo'lishi kerak ya'ni,

$$\sigma_{qh} = \sigma_{qs} + \sigma_{sh} \cos \alpha \quad (1)$$

shart bajariladi. α – 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 ($\alpha < \frac{\pi}{2}$) burchak bo'ladi (6-rasm).

Agar qaysidir burchak suyuqlik va qattiq jism uchun $\alpha = 0$ bo'lsa, shu suyuqlik berilgan qattiq jismni to'la (absolut) 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

$$\sigma_{qs} = \sigma_{qh} + \sigma_{sh} \cos(180^\circ - \alpha) \quad (2)$$

shart bajariladi.



7-rasm. Ho'llamovchi suyuqlik tomchisi qattiq jism sirtida.



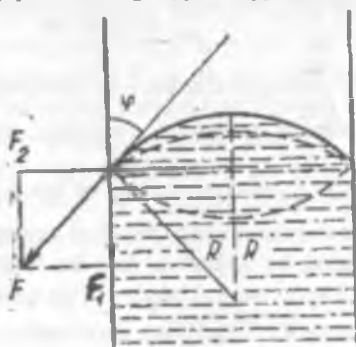
8-rasm. Ho'llamovchi suyuqlik kichik teshiklardan oqmaydi.

Shunday qilib, qattiq jismni suyuqlik ho'llamasa chegaraviy burchak o'tmas ($\alpha > \frac{\pi}{2}$) bo'lib, mutlaqo (absolut) ho'llanmaydigan suyuqliklar uchun $\alpha = 180^\circ$ ga teng.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): suyuqlik, suyuqlik tomchisi, ikki muhit chegarasi, sirt taranglik kuchi, sirt taranglik koeffitsiyenti, ta'sir etuvchi kuchlar, tomchi muvozanati, ho'llash, ho'llamaslik, chegaraviy burchak.

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 ΣF_1 suyuqlik kesim yuzi πr^2 ga ta'sir qilib bosim hosil bo'ladi:

$$p = \frac{\Sigma F_1}{\pi r^2} \quad (1)$$

9-rasmdan $F_1 = F \cos \alpha$; $F = 2\pi r \sigma$ ekanini hisobga olsak,

$$P = \frac{2\pi\sigma}{\pi r^2} = \cos\varphi = \frac{2\sigma}{r} \cos\varphi \quad (2)$$

$\cos\varphi = \frac{r}{R}$ 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:

$$P = \frac{2\sigma}{R_2} + \frac{2\sigma}{R_1} = \frac{4\sigma}{R}$$

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

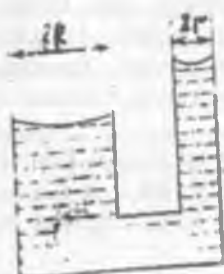
bo'lganligidan R_1 yoki R_2 dan biri cheksiz bo'lganligidan, $P = \frac{\sigma}{R}$ bo'ladi.

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.

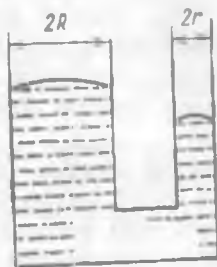
Laplas formulasi $P = \frac{2\sigma}{r} \cos\varphi$ dan ko'rinadiki, tutash idishlarni hosil qilayotgan naychalardan qaysi birining radiusi kichik bo'lsa, shu qismdagi suyuqlikka bo'layotgan bosim katta bo'ladi. Faraz qilaylik, naychalardan birining radiusi R , ikkinchisining r bo'lsa (6-rasm), hosil 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 $P_1 = \frac{2\sigma}{R} \cos\varphi + P_{atm}$ ingichka naychadagi suyuqlikka ta'sir qilayotgan bosim $P_2 = \frac{2\sigma}{r} \cos\varphi + P_{atm}$ bo'ladi. Suyuqlik muvozanatda bo'lsin uchun bu ikki tomonga bo'layotgan bosim teng bo'lishi kerak.

Agar $R \gg r$ desak, u vaqtda 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.

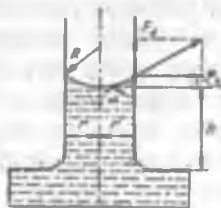


11-rasm.

Agar suyuqlik ho'llamaydigan bo'lsa, bosim farqi suyuqlik tomon yo'nalaganligidan ingichka naychadagi suyuqlik sirti pastroq bo'ladi. (11-rasm). Shundagina Paskal qonuni bajarilib, suyuqlik muvozanatda bo'ladi.

Suyuqliklar sirti balandligi nimaga bog'liqligini ko'raylik.

Suyuqlik sirlari orasidagi balandlik shunday bo'lishi kerakki, bu balandlikka mos kelgan suyuqlik ustuning gidrostatik bosimi, egriliklari har xil bo'lgan sirlarda hosil bo'layotgan Laplas bosimlari farqiga teng bo'lishi kerak,



12-rasm.

(12-rasm) ya'ni:

$$\frac{2\sigma}{r} \cos \varphi - \frac{2\sigma}{R} \cos \varphi = \rho g h$$

Agar $R \rightarrow \infty$ bo'lsa,

$$\frac{2\sigma}{r} \cos \varphi = \rho g h \quad (4)$$

bo'ladi. Bu tenglikdan,

$$p = \frac{2\sigma}{\rho n r} \cos \varphi \quad (5)$$

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 gorizontaal (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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): suyuqlik, ho'llovechi, ho'llamovechi, suyuqlikning egrilik sirti, Laplas bosimi, sirt taranglik kuchi, perimetr, bosim, Laplas formulasi, sirt taranglik koeffitsiyenti, cho'zilish, siqilish, Jyuren formulasi, kapillyar naycha, kapillyarlik hodisasi, o'simlik shoxi va bargi, daraxt ildizi, bug'lanish, namlik, qon tomirlari.

Bug'lanish. Kondensatsiya. To'yingan bug'. Namlik

Molekular kinetik nazariyadan ma'lumki, suyuqlik molekullari 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 molekular ta'simi yengishga sarflanib, *bug'lanish ishi* (A_v) deb yuritiladi. Bu ish molekulalarning kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Kinetik energiya tezlikka bog'liqligini hisobga olsak, molekula bug'lanishi uchun umuman tezligi emas, shu tezlikni suyuqlik sirtiga tik tashkil etuvchisi v_n rol o'ynaydi. Shunday qilib, qaysi molekula uchun

$$\frac{mv_n^2}{2} > A_v \quad (1)$$

shart bajarilsa, shu molekula suyuqlikni tashlab ketadi.

Suyuqlikdan chiqqan har bir molekula o'zi bilan $\sigma = \frac{3}{2}kT$ issiqlik harakati energiyasini olib ketar ekan, natijada suyuqlik soviydi.

Shunday qilib, *o'zgarmas haroratda suyuqlik bug'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 λ_v 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:

$$\lambda = \lambda_v + p(V_b - V_c) \quad (2)$$

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 aylantirilayotgan bo'lsa, buning uchun kerak bo'lgan issiqlikni *molar bug'lanish issiqligi* deyiladi.

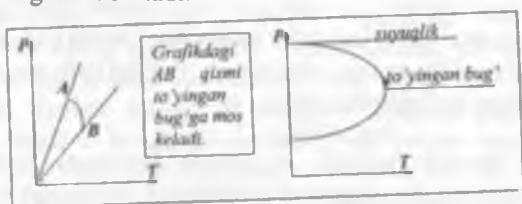
(1) tengsizlik hamma molekulalar uchun ham o'rinli bo'lavermaydi. Shuning uchun ham suyuqlik ichidan suyuqlik sirtigacha kelgan molekulalarni bir qismi yana suyuqlik ichiga qaytadi.

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 molekularlar sirtidan deyarli qaytmay suyuqlikka o'tadi. Har bir birlik yuza orqali birlik vatqda bug'dan suyuqlikka o'tayotgan molekular 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 molekular soni kondensatsiyalanayotgan molekular 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 kattaligiga ta'sir qilmaydi va faqat dinamik muvozanatni sodir bo'lish vaqtiga ta'sir qiladi. Bug'lanish harorati qancha 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.



12a-rasm. Havodagi suv bug'lari va namlikning haroratga bog'liqligi.

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 molekularlari mavjuddir. **Atmosfera tarkibida suv molekularlarining bo'lishiga namlik deyiladi. 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.

Havoning namligi quyidagi tavsiflar bilan aniqlaniladi:

1) Absolut namlik (P_a) – havoning birlik hajmidagi suv bug'i miqdori bilan tavsiflanadi va kg/m^3 larda o'lchanadi.

2) Maksimal namlik P_μ – berilgan haroratda to'yingan bug'ga tog'ri kelgan havoning hajm birligidagi suv bug'i miqdori;

3) Nisbiy namlik (B) – absolut namlik maksimal namlikning qancha qismini tashkil etganligini ko'rsatib, foiz hisobida ifodalaniadi;

$$B = \frac{P}{P_\mu} 100\%$$

4) Shudring nuqtasi – bu shunday haroratki, bu haroratda suv bug'i to'yingan bo'lib qoladi. Shudring nuqtasida havodagi suv bug'larining kondensatsiyalanishi boshlanadi.

$P=760$ mm sim ust bosimida $1 m^3$ suv bug'lari bilan to'yingan havodagi suvning miqdori

7.3. jadval

Harorat, °C	Suv miqdori, gramm	Harorat, °C	Suv miqdori, gramm	Harorat, °C	Suv miqdori, gramm
0	4,84	14	11,96	28	26,93
1	5,18	15	12,71	29	28,45
2	5,54	16	13,50	30	30,04
3	5,92	17	14,34	31	31,70
4	6,33	18	15,22	32	33,45
5	6,76	19	16,14	33	35,27
6	7,22	20	17,32	34	37,18
7	7,70	21	18,14	35	39,18
8	8,21	22	19,22	36	41,3
9	8,76	23	20,35	37	43,5
10	9,33	24	21,54	38	45,8
11	9,93	25	22,80	39	48,2
12	10,57	26	24,11		
13	11,25	27	25,49		

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): M.K.N., molekulaning xaoitik issiqlik harakati, molekulaning kvadratik o'rtacha tezligi, harorat, bug'lanish ishi, kinetik energiya, yashirin ichki bug'lanish issiqligi, tashqi bug'lanish issiqligi, solishtirma bug'lanish issiqligi, molar bug'lanish issiqligi, bug'lanishning intensivligi, kondensatsiya, bug'ning kondensatsiyalanish issiqligi, suyuqlik va bug', dinamik muvozanat holati, to'yingan bug', atmosfera, shudring, bulut, odam organizmi, havoning namligi, absolut namlik, maksimal namlik, nisbiy namlik, shudring nuqtasi.

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 ρgh 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_1 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;

$$P_1 + \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V} \geq P_0 + \rho gh + \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

Bu formulada r – pufakcha radiusi, ρ – suyuqlik zichligi, h – pufakchadan suyuqlik sirtigacha bo'lgan balandlik, V – pufakcha hajmi, σ – suyuqlik sirt taranglik koeffitsiyenti. Agar pufakcha ichida havo bo'lmasa, (1) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$P_1 \geq \rho gh + \frac{2\sigma}{r} + P_0 \quad (2)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, tashqi bosim ortishi bilan suyuqlikda qaynash sodir bo'lishi uchun to'yingan bug' bosimi (P_1) 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 pufukchalari katta rol o'ynaydi. Agar suyuqlik ana shunday havo pufakchalaridan va changlardan tozalansa, uning qaynash harorati ham ko'tarilib, o'ta qiziqan suyuqlik bo'lib qoladi.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): qaynash, bug'lanish, suyuqlikning butun hajmi, to'yingan bug' bosimi, tashqi bosim, gidrostatik bosim, Laplas bosimi, havo bosimi, harorat, radius, suyuqlik zichligi, sirt taranglik koeffitsiyenti, qaynash harorati, atmosfera bosimi.

Shiller va Tomson paradoksi

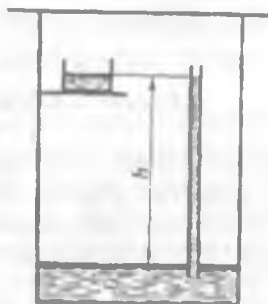
Tiqin bilan og'zi mahkam berkitilgan idishga suv solingan bo'lsin. Bir necha vaqt o'tgandan so'ng suyuqlik va bug' orasida dinamik muvozanat ro'y beradi. Idish to'yingan bug' bilan to'ladi.

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_o va idish yuqorisida bosim

$$P_h = P_o - \rho_k g h \quad (1)$$

bo'ladi.



13-rasm. Shiller va Tomson paradoksini tushuntirish uchun.

Muvozanat yuzaga kelgan h balandlikda bosim to'yingan bug' bosimidan kichik bo'ladi, chunki molekulaning bug'lanishi kondensatsiyaga nisbatan katta. Natijada idish yuqorisidagi barcha suv bug'lanadi.

Faraz qilaylik, quyidagi tajriba o'tkazilayotgan bo'lsin. Idishga kapillyar 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

$$P_h = P_\sigma \cdot \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{\rho_h}{\rho_c} \quad (2)$$

Shunday qilib, bu yerda "abadiy dvigatel" kuzatilmaydi. *Suyuqlik egrilik sirti ustida dinamik muvozanat yuzaga kelishi bilan nayda suvning oqishini to'xtatadi.*

Suyuqlikning yassi va egri sirlari ustida bosimning har xil bo'lishini *angliyalik Tomson va kiyevlik Shiller* aniqlagan.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): tiqin, berk, idish, suv, bug', dinamik muvozanat, to'yingan bug', idish yuqorisidagi bosim, idish tubidagi bosim, balandlik, bug'lanish, Jyuren qonuni, suvning oqishi, Tomson, Shiller.

Fazaviy o'tishlar

Moddalar uch agregat holatda, ya'ni 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.

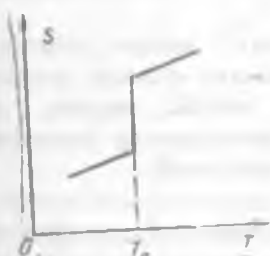
Fazaviy o'tishlar ikki xil: birinchi va ikkinchi tur fazaviy o'tishlar bo'ladi. Birinchi tur fazaviy o'tishlarda yashirin issiqlik yutiladi yoki chaqiriladi hamda solishtirma hajm (zichlikka teskari bo'lgan kattalik) sakrab o'zgaradi (uzluksiz o'zgarmaydi). Bunday fazaviy o'tishlarga erish, kristallanish, bug'lanish, kondensatsiyalanish, α – temirdan γ – temirga o'tish va boshqa jarayonlar misol bo'la oladi.

Fazaviy o'tishlarni qaytuvchan jarayon deb qarasak, unga termodinamikaning ikkinchi qonunini qo'llash mumkin:

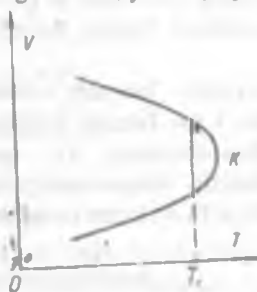
$$dS = \frac{dQ}{T}$$

(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 $v_h - v_s = 0$.



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 α , izotermik siqilish β , 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 α , β , 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 geliy I va geliy II ga ajraladi. Bulardan geliy I ning yopishqoqligi deyarli nolga teng bo'lib, bu fakt geliy I ni ushlab qolib, geliy II ni ajratish imkonini beradi. Geliy I ni Geliy II ga o'tishi α , β , va $\Delta v=0$ larning sakrab o'tishi bilan kuzatiladi. Demak, ikkinchi tur fazaviy o'tish sharti bajariladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): agregat holatlar, fazaviy o'tishlar, I tur fazaviy o'tishlar, II fazaviy o'tishlar, qaytar jarayon, termodinamikaning II qonuni, issiqlik miqdori, entropiya, kristallanish, kondensatsiyalanish, entropiyaning kamayishi, Kyuri harorati, o'ta o'tkazuvchanlik, o'ta oquvchanlik.

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,

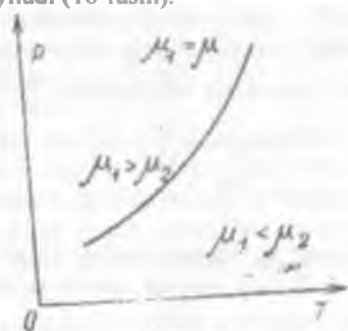
$$dU = TdS - pdV + \mu dN \quad (2)$$

μ 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'rmini

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 molekulalar 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

$$dT = T \frac{v_g - v_l}{\lambda} dp \quad (3)$$

formula bilan beriladi. Bu tenglamada v_g va v_l mos ravishda suyuqlik va to'yingan bug'ning T haroratdagi solishtirma hajmi, λ 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 $v_g > v_l$, 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

$$d(\ln p) = d \frac{\lambda}{RT}, \quad (5)$$

$$p = \frac{\text{const}}{e^{\frac{\lambda}{RT}}} \quad (6)$$

Bundan ko‘rinadiki, harorat ortishi bilan to‘yingan bug‘ bosimi keskin ortadi va $P(T)$ bog‘lanishni tavsiflovchi egrilik kritik haroratda tugaydi.

Tayanch iboralar (kalit so‘zlar): real gazning holat tenglamasi, suyuqlik, bug‘, issiqlik almashinish, ichki energiyaning o‘zgarishi, kimyoviy potensial, bosim va harorat, fazalar muvozanatining egriligi, haroratning o‘zgarishi, Klapeyron-Klauzius tenglamasi, bosimning ortishi, qaynash harorati, muzning erish harorati, to‘yingan bug‘ bosimi, kritik harorat.

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 zahotiyuq 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 muvozanatida**, 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 (qavariq 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'zgarmay qolishi kerak, chunki bir faza ikkinchi fazaga o'tib turishi natijasida bitta faza o'sib, ikkinchi faza butunlay yo'qoib 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, xlorni fosfor $205 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ bosim, 102°S haroratda ham qattiq holatda bo'ladi. Vaholanki, bosim $75 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ bo'lganda, uning kritik harorati 50°S bo'ladi va hokazo.

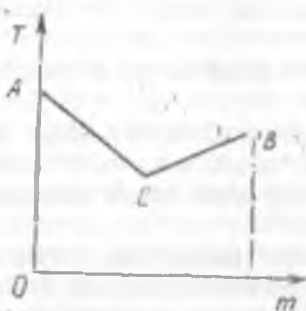
Fazaviy o'tishlarga misol qilib kondensatsiya va bug'lanishni ko'rsatish mumkin. Yopiq idishda biror miqdor suv va uning bug'i bo'lsin.

Idishning hajmi o'zgarmas bo'lib, harorat birday saqlansin. Molekulalar betartib harakat qilib, ikki faza chegaralangan sirtan bug'da suyuqlik yoki suyuqlikdan bug'ga o'tib turadi. Shunday qilib, bu ikki fazar molekulalari uzluksiz ravishda almashinib turadi. Agar suyuqlikdan bug'ga o'tayotgan molekulalarning soni, bug'dan suyuqlikka o'tayotgan molekulalarning soniga qaraganda ko'p bo'lsa, u holda suyuq fazaning miqdori kamaya borib, bu jarayon *bug'lanish* deyiladi.

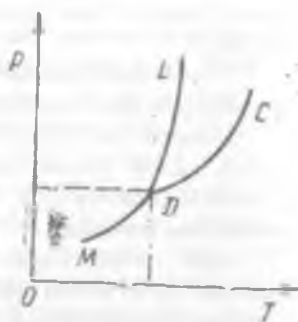
Suyuqlik ustiga bug' o'ta to'yingan yoki qizigan bo'ladi. Aksincha, agar gaz fazadan suyuq fazaga o'tayotgan molekulalarning soni, suyuq fazadan gaz fazaga o'tayotgan molekulalarning sonidan ko'p bo'lsa, *kondensatsiya jarayoni* ro'y beradi va nihoyat o'zaro fazalarga o'tayotgan molekulalarning soni 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 oldingi mavzudagi (3) tenglamadan topish mumkin:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{T(v_g - v_l)}$$

Bu yerda λ – bug'lanish issiqligi, V_h 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 $\frac{m_A}{m_A + m_B} = 1$ 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 issiqlik 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): yopiq idish, suv, suv bug'i, issiqlik muvozanat, mexanik muvozanat, agregat holatlar, kondensatsiya, sublimatsiya, erish, qotish, kristallanish, bosim, bug'lanish, kondensatsiya jarayoni, dinamik muvozanat, harorat o'zgarishi, moddaning tozaligi, komponent, erish issiqligi, uchlanma nuqta.

Fazaviy o'tishlarda entropiyaning o'zgarishi

Massasi m ga teng bo'lgan modda λ ga teng bo'lgan issiqlik, fazaviy o'tishda bir fazadan boshqasiga o'tayotgan bo'lsin.

Izotermik fazaviy 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): massa, issiqlik, fazaviy o'tish, izotermik jarayon, issiqlik miqdori, entropiyaning o'zgarishi, musbat issiqlik miqdori, qattiq, suyuq, gaz, entropiyaning ortishi, kristallanish, kondensatsiya, entropiyaning kamayishi.

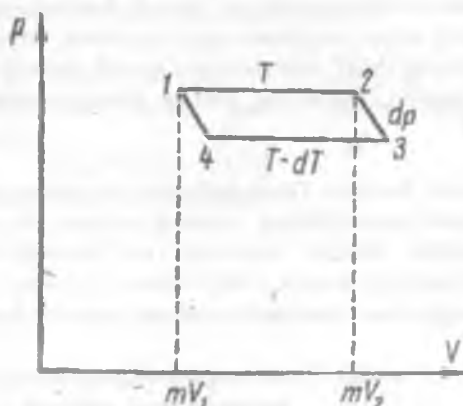
Klapecyron-Klauzius tenglamasi

Bosim o'zgarishining fazaviy 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 izobank o'tishi yuzaga keladi. (19-rasm).

Q_1 issiqlik hisobiga doimiy P bosim ostida suyuqlikning m massasi bug'lanadi, unga esa λ 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 2 dan cheksiz yaqin 3 holatga adiabatik keltiramiz.

Adiabatik jarayonda bug'lanish issiqligi sistemaning o'zidan olinadi hamda sistema harorati ΔT 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 koeffitsiyenti (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 fazaviy 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.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): bosimning o'zgarishi, fazaviy o'tish harorati, suyuqlikning qaynash harorati, Karno sikli, to'yingan bug', suyuqlik, isitkich, izotermik va izobarik o'tish, bug'lanish, bug'lanish issiqligi, siklning ishi, Karno siklining F.I.K., Klapeyron-Klauzius tenglamasi, bosimning oshishi, qaynash harorati.

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.

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (1)$$

Bu tenglamaning grafigini chizamiz (20-rasm) va unga gorizontaal chiziq o'tkazamiz, ularning kcsishgan 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.

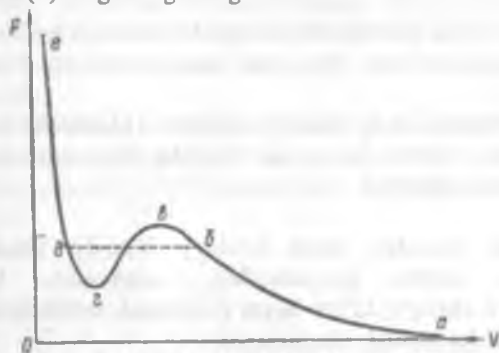
Uchinchi tenglamani quyidagicha almashtiramiz:

$$V^3 - (C_1 + C_2 + C_3)V^2 + (C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_1)V - C_1C_2C_3 = 0$$

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

$$V^3 - 3V_kV^2 + 3V_k^2V - V_k^3 = 0 \quad (4)$$

(4) tenglama (3) tenglamaga teng kuchli.



20-rasm. Van-der-Vaals tenglamasi ildizlari.

Bundan V ning darajalariga mos keluvchi koeffitsiyentlarni tenglashtirib, hosil bo'lgan uchta tenglamadan a va b doimiyliklar hamda kritik parametrlar orasidagi bog'lanishni topish mumkin. Koeffitsiyentlarni tenglashtirib, quyidagini olamiz

$$b = \frac{RT}{P_c} = 3V_c$$

$$\frac{a \cdot b}{P_c} = V_c^3$$

$$a/P_k = 3V_k^2$$

Hosil bo'lgan uchinchi tenglamani ikkinchi tenglamaga bo'lib

$$V_k = 3b \quad (5)$$

ni hosil qilamiz.

Demak, kritik hajm Van-der-Vaals tenglamasidagi b domiylikning uchlanganligiga teng, bu domiylik esa molekula o'zining hajmining to'rtlanganligiga teng. Shunday qilib, kritik hajmda molekularlar o'z hajmidan 12 marta katta bo'lar ekan:

$$V_k = 12V_o \cdot N \quad (6)$$

Topilgan $V_k = 3b$ qiymatni ikkinchi tenglamaga qo'ysak,

$$P_k = \frac{a}{27Kb^2} \quad (7)$$

bo'ladi.

V_k va P_k ning topilgan qiymatlarini birinchi tenglamaga qo'ysak,

$$T_k = \frac{8a}{27R \cdot b} \quad (8)$$

bo'ladi. Kritik holatni tavsiflovchi hamma uch kritik parametrlar Van-der-Vaals tenglamasining o'zgarmas funksiyasida va R gaz doimiysida keltirilgan.

Kritik holatlar to'g'risidagi ta'limot D.I.Mendeleyev tomonidan kiritilgan va rus olimlari Avenarius, Nadejdin, Semenchenkolar tomonidan tekshirilib, rivojlantirilgan.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Van-der-Vaals tenglamasi, doimiyliklar, kritik parametrlar, bog'lanish, kritik holat, kondensatsiya chizig'i, kritik hajm formulasi, kritik bosim formulasi, kritik harorat formulasi, Mendeleyev.

Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi

Endi Van-der-Vaals tenglamasining umumlashgan bir holatiga to'xtalamiz.

$$\frac{P}{P_k} = \Pi; \frac{V}{V_k} = \omega; \frac{T}{T_k} = \tau \quad (1)$$

bular keltirilgan bosim, hajm va harorat. Ularni Van-der-Vaals tenglamasiga qo'yamiz:

$$\left(P k l + \frac{a^2}{V_k^2 n^2} \right) (V_k n - b) = R T_k V_k \quad (2)$$

a , b va R o'rniga qiymatlarini qo'yamiz :

$$b = \frac{V_k}{3}; \quad a = 3 P k V_k^2; \quad R = \frac{8}{3} \cdot \frac{P_k V_k}{T_k} \quad (3)$$

qisqartirishlardan so'ng quyidagini olamiz:

$$\left(P + \frac{3}{2} \right) \left(n - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \cdot \frac{P}{T} \quad (4)$$

(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:

$$\frac{R T_k}{P_k V_k} = \frac{8}{3} = 2,67 \quad (5)$$

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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Van-der-Vaals tenglamasi, keltirilgan hajm, keltirilgan bosim, keltirilgan harorat, keltirilgan Van-der-Vaals tenglamasi, bir xil bosim, bir xil harorat, bir xil hajm.

II tur fazaviy o'tishlar

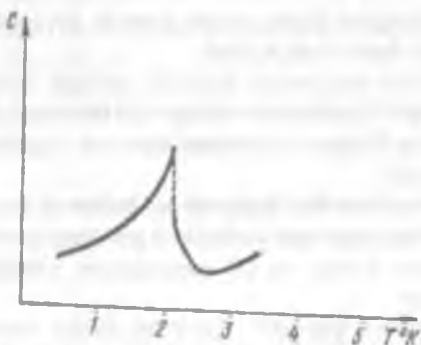
Biz hozirgacha I-tur fazaviy o'tishlarni ko'rib chiqdik. Bu fazaviy o'tish issiqlik miqdori ajralishi yoki yutilishi bilan birga boradi.

I-tur fazaviy o'tishning farqli tomoni – o'tish issiqligining mavjudligi.

Boshqa fazaviy o'tish ham mavjud bo'lib, uni II tur fazaviy o'tish deyiladi va uning I tur fazaviy o'tishdan farqi shundaki, unda o'tish issiqligi mavjud emas.

Temirning Kyuri nuqtasidan o'tishi II tur fazaviy o'tishga misol bo'ladi, chunki bu nuqtada temir o'zining magnit xususiyatlarini yo'qotishi yoki magnit xususiyatiga ega bo'lishi mumkin.

α – temirdan β temir holatga o'tishda harorat 910°C 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 fazaviy o'tishning eng qizig'i, suyuq geliyning past haroratlarda kuzatiladi. Absolut nol haroratga ($2,19\text{ K}$) yaqin nuqtada juda kichik qovushqoqlikli geliy II hosil bo'ladi. Bu holat shishalarni payvandlash paytida hosil bo'lib, qovushqoqlik geliy II uchun boshqa gazlarga nisbatan bir necha marta kichik bo'ladi. Geliy I dan geliy II ga fazaviy o'tishda issiqlik sig'imi grafigi 21-rasmda berilgan.

Fazaviy o'tish nuqtasida barcha fazaviy o'tishlar uchun xos bo'lgan issiqlik sig'imining keskim oshishi kuzatiladi. Geliy (II) ning asosiy fizik xossalardan biri, uning **ikki tovush tezligiga egaligi**, ikkinchisi, ayrim o'tkazgichlarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tish holatlari. Absolut

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).

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): I tur fazaviy o'tish issiqlik miqdori ajralishi, issiqlik miqdorining yutilishi, o'tish issiqligi, II tur fazaviy o'tish, temir, Kyuri nuqtasi, magnit xususiyat, kristall panjara, issiqlik sig'imi, suyuq geliy, past harorat, o'ta o'tkazuvchanlik.

Nernstning issiqlik qonuni

Nernstning issiqlik qonuni odatda *termodinamika III qonuni* deb ham yuritiladi. Buni termodinamikaning III qonuni deyish noto'g'ri, chunki uning ahamiyati I va II qonunlardan qolishmaydi. Nernstning issiqlik qonuni absolut nolda jismning fizik xossalarini, ya'ni chegaraviy fizik xossalarini aniqlaydi. Absolut nol – chegaraviy eng past harorat.

Faraz qilaylik, kristall absolut 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.

Absolut nol haroratda bu jarayon qaralsa, haroratning oshishi kuzatilmaydi, chunki absolut nolda kristall atomlari harakatlanmaydi. Atomlar kristall panjara tugunlarida bo'ladi va hech qanday tebranishlar hosil qilmaydi.

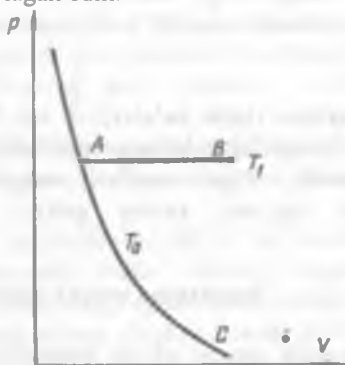
Kristallni siqa borsak, asta-sekin atomlar bir-biriga yaqinlasha boradi. Bunday atomlarning yaqinlashishida issiqlik haroratini tavsiflovchi hech qanday tebranishlar yuz bermaydi.

Shunday qilib, kristallarning siqilishida harorat hech qanday oshmaydi. Issiqlik sig'imi nazariyasini qaraganda *olmos va shunga o'xshash jismlarda absolut noldan yuqori haroratlarda issiqlik sig'imi deyarli nolga teng*.

Qaralgan jarayonda, absolut nolda kristallni siqish izotermik bo'lsa-da, bu yerda bir vaqtning o'zida siqish adiabatik bo'ladi.

Demak, *absolut nol haroratda izoterma va adiabatalar bir-biriga mos tushadi*. Izoterma va adiabatalar ustma-ust tushishi, entropiyaning *absolut 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 absolut qiymatlarini hisoblashda nolinci adiabata izotermaning PV diagrammasini yasaymiz. Jism adiabatani 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 adiabata yoki izotermada yotishi mumkin. Bu xona haroratidagi izoterma ham bo'lishi mumkin. U holda entropiya

$$S = \int_A^B \frac{C_p dT}{T} \quad (1)$$

bo'ladi. Bu yerda C_p - T harorat funksiyasi.

Shunday qilib, entropiyani hisoblashda kattaliklarni farqi sifatida emas, balki absolut 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): Nernstning issiqlik qonuni, Termodinamikaning III qonuni, absolut 0 harorat, fizik xossa, chegaraviy fizik xossa, adiabatik siqilish, kristall, haroratning ortishi, impuls, tebranish, issiqlik sig'imi, izoterma, adiabata, entropiya.

MASALALAR YECHISH NAMUNALARI

1-masala

Xonadagi havo harorati 20°C , havoning nisbiy namligi 60%. Qanday havo haroratida deraza ortida deraza shishalari namlanga boshlaydi?

Berilgan:

$$t_1 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$r = 60\%$$

$$t_2 = ?$$

Masalaning yechilishi:

Nisbiy namlik,

$$r = \frac{P}{P_i}$$

bu yerda P – havodagi suv bug'larining bosimi, P_i – berilgan haroratda to'yingan fazodagi suv bug'larining bosimi.

Jadvaldan 20°C da to'yingan bug'ning bosimi $P_i = 17,5 \text{ mm. sim. ust.}$ ga teng.

Bosim

$$P = P_i \cdot r$$

Hisoblaymiz:

$$P = P_i \cdot r = 17,5 \cdot 0,6 = 10,5 \text{ mm. sim. ust.}$$

Jadvaldan $P = 10,5 \text{ mm. sim. ust.}$ ga $t_2 = 12^{\circ}\text{C}$.

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:

$$P = 752 \cdot 133 + \frac{8 \cdot 40 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-3}} = (100016 + 80) \text{ Pa} = 100096 \text{ Pa}$$

Qo'shimcha bosim $P_q = 80 \text{ Pa}$.

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:

$$d = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$m = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\sigma = ?$$

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:

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d} = \frac{1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 9,8}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 4,05 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

4-masala

Suyuqlikka tushirilgan ikkita kapillyar nay ichidagi suyuqliklarning sathlari farqini toping. Suyuqlik zichligi $0,8 \text{ g/sm}^3$, kapillyarlarning ichki

diametri 0,04 sm va 0,1 sm. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti $22 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$.

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 radiusi, $r = d/2$.

$$h = \frac{2 \cdot 2\sigma}{\rho g d}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

Hisoblaymiz:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) = \frac{4 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^3 \cdot 9,8} \left(\frac{1}{0,4 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{10^{-3}} \right) \text{ m} = 16,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5-masala

Havo harorati 16°C dan 10°C gacha pasaytirilganda, 1 m^3 havodan $1,5 \text{ g}$ suv ajralib chiqdi. Havoning 16°C dagi nisbiy namligini toping.

Berilgan:

$$t_1 = 16^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 10^\circ\text{C}$$

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

$$m = 1,5 \text{ g} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\varphi = ?$$

Masalaning yechilishi:

1 m^3 havodagi ajralib chiqqan suv miqdori,

$$\frac{m}{V} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

Masala shartiga ko'ra, 283 K haroratda havo suv bug'lari bilan to'yingan. Jadvaldan ρ_l bug' zichligini 10°C dagi qiymatini topamiz. Havoning absolut namligi,

$$P_4 = P_1 + \frac{m}{V}$$

ekanligini topamiz va jadvaldan 16°C 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 $\lambda = 3,32 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$, freonning solishtirma bug'lanish issiqligi $r_f = 1,68 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.

Berilgan:

$$\eta = 0,8$$

$$m_s = 0,15 \text{ kg}$$

$$T_1 = 289^{\circ}\text{K}$$

$$T_2 = 273^{\circ}\text{K} \text{ (muzning erish harorati)}$$

$$\lambda = 3,32 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$$

$$r_f = 1,68 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$m_f = ?$$

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:

$$m_f = \frac{c_f m_z (T_1 - T_2) + \lambda m_z}{r_f \eta} = \frac{4187 \cdot 0,15 \cdot 16 + 3,32 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,8} \approx 0,044 \text{ kg}$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

50°C haroratda tuyungan suv bug'ining zichligi topilsin?

Javob: $\rho = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$.

To'yungan suv bug'ining zichligi 16°C haroratli suvning zichligidan necha marta kam?

Javob: 74000.

200°C haroratda to'yungan suv bug'ining zichligi 100°C haroratda to'yungan suv bug'ining zichligi necha marta ortiq?

Javob: 12.

Yo'z kunida nisbiy namligi 75% va harorati 30°C bo'lgan 1 m³ havodagi suv bug'ining og'irligi qancha?

Javob: $22,5 \cdot 10^{-3} \text{ kG}$.

$V = 1 \text{ m}^3$ yopiq hajmdagi havoning 20°C haroratda nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?

Javob: $m = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$.

Harorati 18°C va nisbiy namligi 50% bo'lgan xonada metall chaynakka sovuq suv solingan. Suvning harorati qanday bo'lganda choynak terlamay qoladi?

Javob: $t = 7^\circ \text{C}$.

30° haroratda to'yungan suv bug'ining 1 sm³ hajmdagi molekulalar soni topilsin.

Javob: $n = 10^{18} \text{ sm}^{-3}$.

50° haroratda 0,5g suv bug'i 10 l hajmni egallaydi. 1) Bundan nisbiy namlik qanday bo'ladi? 2) Agar hajmni 2 marta izometrik kamaytirilsa, bug'ning qanday miqdori kondensasiyalanadi?

Javob: 1) $\omega = 60,4\%$; 2) $m = 86 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$.

Binoning harorati 37°C ga va atmosfera bosimi 760 mm sim. ust.ga teng. Bu binodagi simobli barometr qanday bosimni (mm. sim. ust. larida) ko'rsatadi? Simobning kengayishiga nisbatan shishaning kengayishini juda kichik deb hisoblansin. Simobning kengayish koeffitsiyentini $1,82 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$ ga teng deb olinsin.

Javob: 756 mm. sim. ust.

1) Balandligi $h=10\text{mm}$, ichki diametri $d_1=50\text{ mm}$ va tashqi diametri $d_2=52\text{ mm}$ bo'lgan gorizontal alyuminiy halqani suv sirtidan ajratish uchun, uni qanday kuch bilan yoqoriga tortish kerak? 2) Sirt taranglik kuchi topilgan kuchning qancha qismini tashkil qiladi?

Javob: 1) $F=63,5 \cdot 10^{-3}\text{N}$; 2) $x=37\%$.

Ichki diametri 25 mm va tashqi diametri 26 mm halqa deformasiya koeffitsienti 10^{-4} kG/mm^2 ga teng prujinachaga osilganva halqa suyuqlik sirtiga tegib turadi. Suyuqlik sirti asta-sekin pastga tushirila borilib, prujina 5,3 mm ga cho'zilganda halqa suyuqlikdan ajralgan. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti topilsin.

Javob: $a=32,4 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$.

VIII BO'LIM

QATTIQ JISMLAR

Kristall va amorf jismlar

Yuqoridagi paragraflarda yoritilganidek, gazlar qanday idishga solinishidan 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.

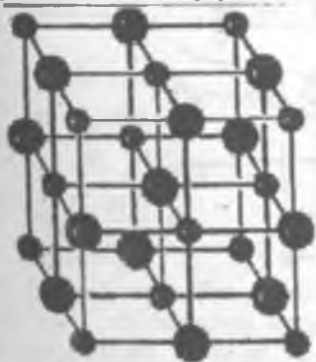
Qattiq jismlar esa gaz va suyuqliklardan aniq geometrik shaklga ega bo'lishi bilan tamomila farq qiladi.

Moddalarning agregat holatlarini quyidagi munosabatlar orqali ham ifodalash mumkin, ya'ni molekulalarning o'zaro ta'sir potensial energiyasining eng kichik qiymati E_{pmin} va issiqlik xotik (tartibsiz) harakati kinetik energiyasining o'rtacha qiymat E_k lari orasidagi munosabatdan:

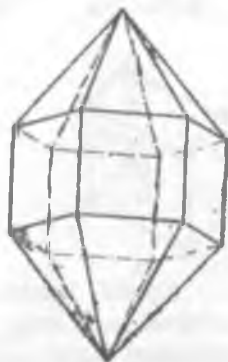
- 1) agar $E_k \gg E_{pmin}$ bo'lsa, modda gaz holatida;
- 2) agar $E_k < E_{pmin}$ bo'lsa, modda qattiq holatda;
- 3) agar $E_k \approx E_{pmin}$ bo'lsa, modda suyuqlik holatida bo'ladi.

Qattiq jismlar fizik xossalari qarang ikki turga: kristall va amorf jismlarga ajratiladi.

Kristall jismlarni eng xarakterli tomoni ularni tashkil etuvchi zarralar aniq geometrik shaklda joylashishidir.



1-rasm.



2-rasm.

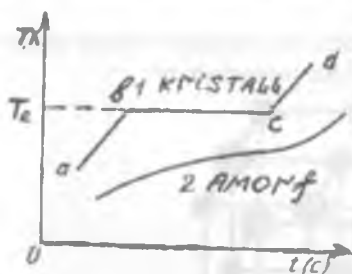
Masalan, osh tuzi NaCl kristallari kub shaklida (1-rasm), kvars kristallari prizma ko'rinishiga (2-rasm) ega.

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 crish 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 crish haroratiga (T_c) 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.

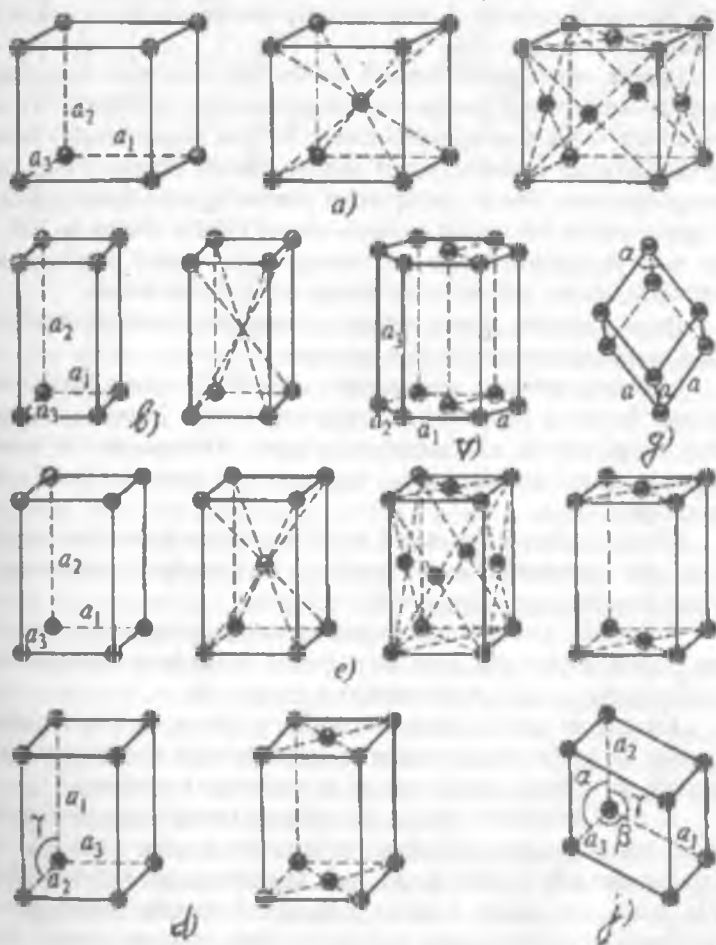


3-rasm.

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.



4-rasm. Kristall panjaralar.

a) kubik, b) tetragonal, v) geksagohal, g) romboedrik, d) rombik, e) monoklin, j) triklin.

Amorf jismlarda zarralarning bunday tartibli joylashishi faqat qo'shni atomlarga xos bo'ladi, buni *yaqin tartib* deb yuritiladi. Amorf jismlar o'zining issiqlik xossalriga 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.

Ba'zi moddalar (kvars, shakar, oltingugurt va h.k.) kristall hamda amorf shaklidagi mavjud bo'lishi mumkin.

Masalan, eritilgan oltingugurt ($t_e=350^\circ\text{C}$) sovuq suvga birdan botirsak, bunda u tez sovitilishi natijasida kristall 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).

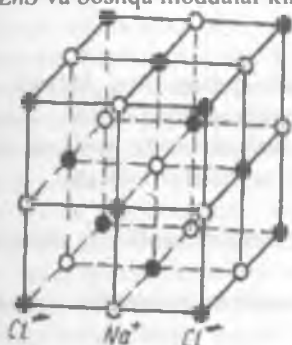
Ko'pchilik qattiq jismlar mayda kristall tuzilishiga ega, ya'ni qattiq jism, xotik joylashgan juda ko'p mayda kristallardan tashkil topgan. Bunday qattiq jismlarni *polikristallar* deb yuritiladi.

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 molekular kristallarga.

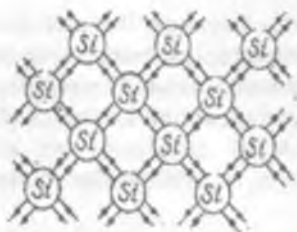
1. Ionli kristallar. Bunday kristallarni, kristalli panjara tugunlarida har xil ishorali ionlar joylashgan bo'ladi. Bu zarralar ortasidagi o'zaro ta'sir kuchlari elektr tabiatga ega. Ionli kristallarga osh tuzi kristalli misol bo'la oladi va uning kristall panjarasi 5-rasmda keltirilgan. Ionli kristallarga 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 valentli 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. **Metalli kristallar.** Metall kristallarning fazoviy panjarasi tugunlarida musbat ionlari joylashgan bo'lib, ular o'rtasidagi fazoda erkin elektronlar harakatlana oladi. Metall 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. **Molekular kristallar.** Bunday kristallarga noorganik va ko'pchilik organik birikmalar kiradi. Ularda kristallanish jarayonida molekular o'zlarining individualligini saqlaydi. Molekular kristallarning fazoviy panjarasi tugunlarida molekular joylashgan bo'ladi. Masalan, brom, yod, naftalin va boshqa moddalar kristallari, molekular kristallarga misol bo'la oladi. Molekular kristallarda bog'lanish kuchlari, asosan molekular o'rtasida Van-der-Vaals kuchlari natijasida hosil bo'ladi. Bu bog'lanish

kuchsiz bo'lganligi uchun molekular kristallar molekulalarni qattiq xaotik harakati natijasida oson buziladi, masalan, past haroratlarda eriydi va bug'lanadi.

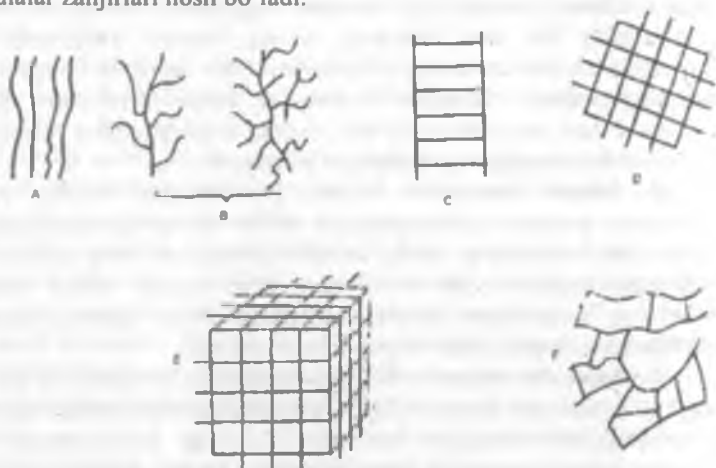
Tayanch iboralar (kalit so'zlar): qattiq jism, kristall, amorf, anizotropiya, erish harorati, kristall panjara, uzoq tartib, yaqin tartib, izotrop, kristall panjara turlari, monokristall, polikristall, ionli kristall, atomli kristall, metall kristall, molekular kristall.

Polimerlar. Polimerlarning fizik-mexanikaviy xossalari

Hozirgi vaqtda texnikada va turmushda **polimerlar** deb ataluvchi moddalar juda keng qo'llanilmoqda.

Polimerlar bir-biriga nisbatan kichik molekular massali molekulalar (monomerlar) ni ulab, katta molekular massali organik birikmalarni hosil qilish yo'li bilan olinadi. Ularni hosil qilish jarayoni esa **polimerlanish** deb aytiladi.

Polimer molekulasi tarkibiga kiruvchi monomerlar soni polimerlanish darajasini ko'rsatadi. Monomerlarning xossalari bog'liq ravishda polimerlanishda ham chiziqli, ham tarmoqli, ham to'rsimon molekulalar zanjirlari hosil bo'ladi.



7-rasm. Polimerlarning fazoviy tuzilishining sxematik tasviri. A – chiziqsimon, B – tarmoqlangan, C – narvonsimon, D – parketsimon, E – F – fazoviy tuzilishlar.

Chiziosimon polimerlarda makromolekulaning uzunligi, uning ko'ndalang o'lchamidan yuz va ming marta katta bo'ladi. Bunday polimerlarga selluloza, tabiiy kauchuk, fibroin, kazein, shuningdek, ko'pgina sintetik polimerlar kiradi.

Tarmoqlangan polimerlarning makromolekulalari yon tomondan shoxlangan ko'rinishga ega bo'ladi. Bunday polimerlarga kraxmal, glikogen, shuningdek, sintetik yo'l bilan olinadigan ko'pgina sopolimerlar misol bo'la oladi.

To'rsimon polimerlarda makromolekulalar choklangan bo'ladi, bunday polimerlar erituvchilarda erimasligi, issiqlik ta'sirida suyuq holatga o'tmasligi bilan ajralib turadi.

Polimerlar ikki sinfga bo'linadi: tabiiy va sintetik.

Tabiiy polimerlarga yuqori molekular massali birikmalar – oqsil, kauchuk va hokazolar kiradi, sintetik polimerlarga esa turli xil plastmassalar kiradi.

Polimerlarning mexanik xossalari ko'p jihatdan molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlariga bog'liq bo'ladi. Jumladan, ularda tartibli kristall sohalarining mavjudligi polimerning mustahkamligini yanada oshiradi.

Ma'lumki, moddalarning qaynash haroratlari molekular og'irlik ortib borishi bilan ko'tariladi. Odatda polimerlarda molekular og'irlik nihoyatda katta bo'lganligi uchun ularning qaynash haroratlari juda yuqori bo'ladi. Shuning uchun hamma mavjud bo'lgan polimerlarning qaynash haroratlari ularning haroratidan yuqori bo'ladi, shu sababdan polimerlarni gazsimon holatga o'tkazib bo'lmaydi.

Demak, *quyi molekular moddalarda uch agregat holat, ya'ni – gazsimon, suyuq va qattiq holat mavjud bo'lgani holda polimerlar faqat ikki agregat holatda qattiq va suyuq holatlarda bo'lishi mumkin.*

Qattiq moddalar kristall yoki amorf holda bo'lgani singari *polimerlarda ham amorf yoki kristall holatlar mavjud.* Oddiy jismlarning amorf holatlari yaxshi o'rganilgan. Ko'pgina hollarda jismlarni o'ta tez sovitdik, amorf ko'rinishga o'tadi.

Masalan, glitserin yoki suvni tez sovutganimizda hosil bo'lgan amorf massa tiniq va mo'rt, shishani eslatadi. Moddalarning bunday holati – *shishasimon holat* deb ataladi.

Amorf polimerlar ham bir qator fizikaviy xususiyatlari va tashqi ko'rinishi bilan oddiy shishaga o'xshab ketadi. Ular tashqi kuch ta'sirida o'zgina deformatsiyaga uchraydi. Ma'lum sharoitda mo'rt bo'ladi. Shuning uchun, polimerning bu fizikaviy holati – *shishasimon holat* deb ataladi.

Suyuq holatdagi polimerlar ham amorf tuzilishda bo'lib, ko'p xususiyatlari bilan oddiy suyuqliklarni eslatadi. Ular ham ozgina tashqi kuch ta'sirida shaklini qaytmas darajada o'zgartiradi. Ammo oddiy suyuqliklardan polimer suyuqliklarning qovushqoqligi juda katta bo'lishi bilan farq qiladi. Shuning uchun ham polimerlarning oquvchanligi oddiy suyuqliklar oquvchanligidan tubdan farq qiladi. Polimerlarning bunday holati – *qovushqoq-oquvchanlik* holati deb ataladi.

Amorf polimerlarda yuqorida qayd qilingan ikki holatdan tashqari uchinchi holat ham mavjud. Bu holat polimerlarning – *yuqori elastiklik holati* deb ataladi. Bu holat faqat polimerlar uchun xosdir. Shu holatdagi polimerlar uncha katta bo'lmagan kuch ta'sirida katta qaytar deformatsiyaga uchraydi. Bu holat polimerning qovushqoq-oquvchan holati bilan shishasimon holati orasida vujudga keladi.

Demak, polimerlarda deformatsiyalanish yuqori bo'lgani uchun ularni shishasimon holatdagi modda deb qarab bo'lmaydi, ikkinchidan, yuqori elastiklik holatida u oddiy suyuqliklardek oquvchanlikka ega bo'lmay qaytar tarzda deformatsiyalanadi.

Shunday qilib, chiziqli amorf polimerlar uchun uchta fizikaviy holatlar mavjud.

- Shishasimon;
- Yuqori;
- Qovushqoq-oquvchan

Bu holatlarning har birida o'ziga xos mexanikaviy va fizikaviy xususiyatlar bor. Texnikada ular keng foydalaniladi. Masalan, qayta ishlash sharoitida shishasimon holatda bo'lgan polimerlar tola, lak, kinolentalar olishda qo'llanilsa, oddiy sharoitda yuqori elastik holatdagilari rezina sanoatida ishlatiladi.

Nihoyat, zarur bo'lsa, polimerlarni qayta ishlashdan oldin oquvchan holatda o'tkaziladi. Shuning uchun shishasimon holatdan yuqori elastikka, undan qovushqoq-oquvchan holatga o'tish haroratlari amorf polimerlarning asosiy xususiyatlarini belgilaydi.

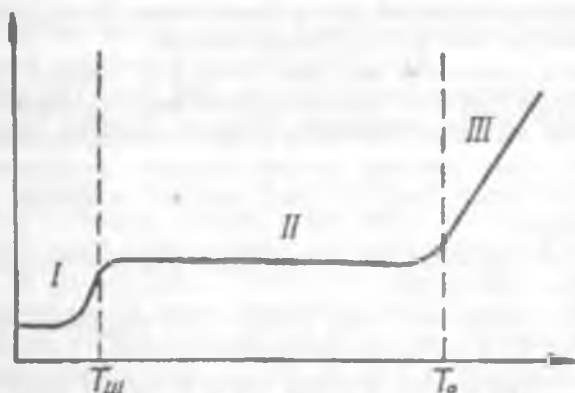
Polimerlarni bir holatdan ikkinchi holatga o'tish haroratlari oralg'i termomexanik usul bilan aniqlaniladi. Bu usul polimer deformatsiyasini doimiy mexanik kuch ta'siridagi keng harorat oralg'ida o'lchashga asoslangan.

Odatda tajriba uchun turli maxsus qurilma asboblardan foydalaniladi va olingan natijalar asosida o'rganilayotgan polimer deformatsiyasining haroratga bog'liqlik grafigi chiziladi. Bu grafik "*Termomexanik egri*

chiziq" deb ataladi. 8-rasmda chiziqsimon amorf polimerlarga xos bo'lgan termomexanik egri chiziqlar keltirilgan.

8-rasmdan ko'rinib turibdiki, shishalanish haroratigacha (T_{sh}) polimer moddalari qattiq holatda bo'lib, kam deformatsiyanadi. Mavjud hamma polimerlar shartli ravishda qabul qilingan T_{sh} – haroratidan past haroratlarda shishasimon holatda bo'ladi (I holat). Harorat ko'tarilishi bilan deformatsiya sezilarli orta boradi. Bunda qattiq va mo'rt bo'lgan polimer jism avval yumshab, so'ngra elastiklasha boradi (T_0). Bu (II holat) – oraliq polimerning yuqori elastiklik holati bo'lib, bu oraliqda polimer qaytar deformatsiyaga uchraydi.

Harorat yana ko'tarilsa, deformatsiya juda tez oshib ketadi. Harorat T_0 dan yuqori bo'lganda polimer qovushqoq-oquvchan holatga o'tadi. Bu holatda polimer namunasi qaytmas deformatsiyaga uchraydi (III holat) (8-rasm).



8-rasm. Chiziqsimon amorf polimerning termomexanik egri chizig'i.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): polimer, monomer, polimerlanish, shishasimon holat, qovushqoq-oquvchanlik, termomexanik egri chiziq, harorat, deformatsiya.

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°S haroratdagi

uzunligini l_0 deb belgilasak, uni $t^\circ\text{C}$ gacha qizdirganimizda uzunligining ortishi Δl 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 α -chiziqli kengayish koeffitsiyenti, jismning haroratini bir gradusga o'rttirganimizda, 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°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 β -hajmiy kengayish koeffitsiyenti, jismning haroratini bir gradusga o'rttirganimizda 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'liqlidir.

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.

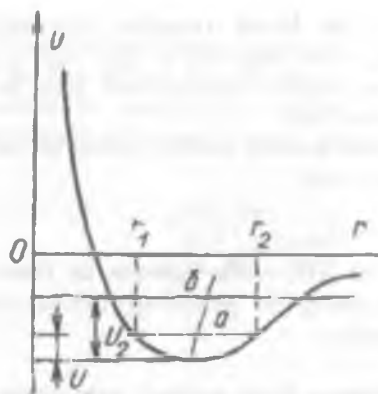
Buni tushuntirish uchun o'zaro ta'sir energiyasi, ular orasidagi masofa bog'liqlik grafigidan foydalanamiz (9-rasm).

Kristall panjaradagi atomning energetik sathini ma'lum bir haroratda a gorizontal to'g'ri chiziq bilan tasvirlaylik va uning energiyasini U_1 deb belgilaylik. Atom mana shu a gorizontal 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 (9-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).



9-rasm.

Mana shu fakt atomlar orasidagi masofa ortganligini tasdiqlaydi, bu esa qattiq jismni 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'lgani uchun, ularning ham tebranish amplitudasi orttiradi. Demak, ma'lum zarraning issiqlik tebranishi qo'shni tugundagi zarralarga uzatiladi.

Shunday qilib, kristall jismlarda panjaraning bir tugunidan qo'shni tugunlariga issiqlik tebranish 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 kristalllarda 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'rsadiki, har ikkala xususiyat ham elektronlarni metallidagi konsentratsiyasiga, erkin yugurish yo'liga bog'liq ekan. $n\lambda$ 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 absolut haroratga bog'liq bo'ladi.

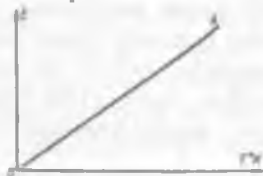
$$\frac{\kappa}{\sigma} = \left(\frac{k}{e}\right)^2 T \quad (4)$$

Bu munosabat XIX asrda Videman va Frans tomonidan tajribada aniqlangan bo'lib, uning son qiymati (4) formula yordamida hisoblangan natijaga ancha aniqdir.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): qattiq jism, harorat, kengayish, chiziqli kengayish koeffitsiyenti, hajmiy kengayish koeffitsiyenti, zarralar orasidagi masofa, issiqlik uzatilishi, elektr o'tkazuvchanlik, issiqlik o'tkazuvchanlik, Videman, Frans.

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.

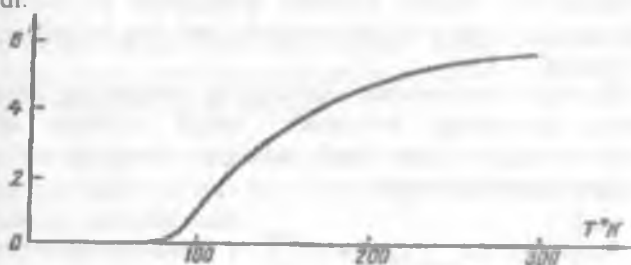


10-rasm. Klassik nazariya bo'yicha molekula energiyasining haroratga bog'liqligi.

Tebranma harakatning har bir erkinlik darajasiga mos bo'lgan o'rtacha energiya, ilgariharakatdagi 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 molekularlar soni (N_A) ni va bitta kristall atomining erkinlik darajasini uchga tengligini nazarda tutsak, $3N_A kT$ munosabat bilan ifodalaniladi.



11-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 molar issiqlik sig'imidir:

$$C_{\mu V} = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V = 3R \approx 25 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

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 tasvirllovchi grafikda yaqqol ko'rinib turibdi (11-rasm).

Olmos, kremniy, alyuminiy va qo'rg'oshinlarda harorat ($T \rightarrow 0$) absolut nolga intilishi bilan hajm doimiy bo'lgandagi issiqlik sig'imi ham nolga intiladi, yuqori haroratlarda esa ($T > 1000^\circ \text{K}$) hamma jismlar uchun $C_{\mu V}$ ga yaqin bo'lib, haroratga bog'liq bo'lmaydi.

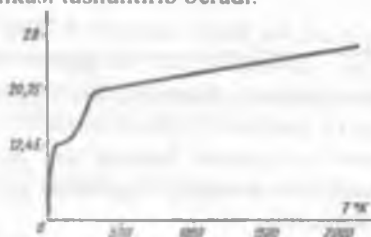
Lekin ba'zi bir jismlar, masalan, kremniy va qo'rg'oshin bundan mustasnodir.

Bu elementlarning o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'implari odatdagi haroratda $3R$ dan kichik, absolut 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'imining klassik nazariya tushunchalari eksperiment natijasiga mos kelmaydi.

Ko'p atomli gaz molekularining issiqlik sig'imi, harorat past bo'lishi bilan bir atomli qattiq jismlarning issiqlik sig'imiga yaqinlashadi, harorat absolut nolga intilishi bilan nolga intiladi.

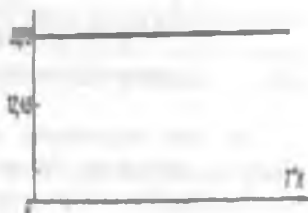
Shunday qilib, tajriba natijalari bilan nazariya o'rtasidagi bu tafovutni klassik nazariya tushunchalariga asosanib, bartaraf qilish mumkin emas. Haqiqatda esa qattiq jismlarda atomning, gazlarda ikki atomli va ko'p atomli molekulalarining harakati juda yuqori va past haroratlarda ham klassik mexanika qonunlariga bo'ysunadi, har bir erkinlik darajasiga to'g'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.



12-rasm.

12-rasm. *Vodorod issiqlik sig'iminin haroratga bog'liqligi.*



13-rasm.

13-rasm. *Ikki atomli gaz issiqlik sig'iminin haroratga bog'liqligi.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): molekula, erkinlik darajasi, energiya, ilgarilanma harakat, aylanma harakat, tebranma harakat, kinetik va potensial energiya, Universal gaz doimiysi, molar issiqlik sig'imi, Dyulong va Pti qonuni.

Issiqlik sig'iminin 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, molekulalar energiyasining erkinlik darajasiga ko'ra taqsimlanishidagi ayrim erkinlik darajasini, molekulalar strukturasi bog'lanishlarni hisobga olmaslik, atom va molekulalar 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 molekulalar sistemasidan iborat bo'lsin. Bu sistemaga

molekulalarning 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:

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{N} \sum N g_n \epsilon_n \quad (1)$$

Agar molekulaning kvant sathi aynigan bo'lsa, molekulalar turli sathlarga ko'ra o'zaro qayta taqsimlangan bo'lsa, u holda ularning to'lgan sathlaridagi o'rtacha molekulalarni soni

$$N_n = N_0 g_n e^{-\epsilon_n / kT} \quad (2)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda $N_0 = e^{\beta}$ ga teng bo'lgan o'zgarmasdir, g_n — esa n — sathning karalanishidir.

Normallashtirish sharti $N = \sum N_n = N_0 \sum g_n e^{-\epsilon_n / kT}$ dan foydalanib, (1) ni quyidagicha yoza olamiz:

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum \epsilon_n g_n e^{-\epsilon_n / kT}}{\sum g_n e^{-\epsilon_n / kT}} \quad (3)$$

yoki

$$\bar{\epsilon} = - \frac{\ln Z}{\beta} = - \frac{d}{d\beta} \ln Z \quad (4)$$

Bu yerda $N = \sum N_n = N_0 \sum g_n e^{-\epsilon_n / kT}$ (4a) ga teng bo'lib, *statistik yoki holatlar yig'indisi* deb ataladi.

Haqiqatdan, z dan β ga nisbatan olingan xususiy hosilaning teskari ishorasi bilan olingan qiymati (3) ifodaning suratini hosil qilishligini ko'rish qiyin emas.

Bu natijani z ga nisbatan ϵ ifodani hosil qiladi.

O'rtacha ϵ ni ηx — kuch ta'sirida $\nu = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\eta}{m} \right)^{1/3}$ 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 sistemaning energiyasi

$$\epsilon_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) h \nu \quad (5)$$

ga teng bo'ladi.

Bu yerda ν — 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 $\ln z = -\beta \frac{h\nu}{2} - \ln(1 - e^{-\beta h\nu})$ dan β ga nisbatan olingan xususiy hosilani (4) ga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\nu}{2} + \frac{h\nu}{e^{\beta h\nu} - 1} \quad (7)$$

(7) da $\frac{h\nu}{2}$ garmonik ossillyatorming nolinci energiyasini ifodalab, molekular (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 qoldirish mumkin:

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\nu}{e^{\beta h\nu} - 1} \quad (7a)$$

Bu formula birinchi marotaba absolut 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, qatorming faqat ikkita hadi bilan chegaralansak,

$$\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) = 1 + \frac{h\nu}{kT} \quad (8)$$

Bu natijani (7a) ga qo'ysak klassik mexanikadagi singari $\epsilon = kT$ ga teng bo'lgan ifodani hosil qilamiz.

Shuni qayd qilish kerakki, $h\nu \ll kT$ da atomning (molekulaning-ossillyatorming) juda ko'p energetik sathlari uyg'ongan bo'lib, energetik sathning diskretligi kvantlanishi ahamiyatga ega bo'lmay qoladi. Energetik sathlari bir-biriga nisbatan juda ham yaqin joylashgan bo'lib, energiyaning erkinlik darajasiga nisbatan taqsimlanishi klassik mexanikadagi uzluksiz energiya taqsimotiga yaqin bo'ladi.

Aksincha, $kT \ll h\nu$ bo'lgan holda tebranma harakat energiyasi amalda $\frac{h\nu}{2}$ ga teng bo'lib, qolgan energetik sathlar uyg'onmagan bo'ladi.

Ossillyatorming tartibsiz issiqlik harakatiga mos bo'lgan o'rtacha energiya $\epsilon = kT$ ossillyatormi $n=0$ holatdan $n=1$ holatga uyg'otishga yetarli emas. Ossillyator faqat o'rtacha energiyasi kT nisbatan katta bo'lgan molekular bilan to'qnashgandagina uyg'onishi mumkin. Lekin bunday $\epsilon > kT$ bo'lgan molekularlarning nisbiy soni juda kam, natijada deyarli hamma ossillyatorlar $n=0$ holatda bo'ladi. Bu holatda $kT \ll h\nu$ shart bajarilar ekan.

Haroratning keyingi o'sishida ham saqlanadi. Shunday qilib, $kT \ll h\nu$ shart bajarilganda ossillyatorlar tebranishlarining energiyasi haroratga deyarli bog'liq bo'lmay, molekulalarning issiqlik sig'imiga ham ta'sir qilmaydi. Eynshteyn qattiq jismlar issiqlik sig'imining kvant nazariyasini yaratishda

Plankning $h\nu \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]$ ifodasini asos qilib oladi. Kristall panjara atomlarining muvozanat vaziyati atrofida birday ν chastota bilan garmonik tebranma harakat qilayotgan ossillyatorlardan 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 chiziqli ossillyator tebranishlarining energiyasidan iborat bo'ladi:*

$$\bar{U} = 3cN = \frac{3N h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (9)$$

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 $kT \gg h\nu$ 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 bimi $\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)$ 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:

$$\lim C_v = 3R \lim \left(\frac{h\nu}{kT} \right) \lim \left| \exp \left(- \frac{h\nu}{kT} \right) \right| = 0$$

Harorat absolut nol haroratga yaqin bo'lgan sohada issiqlik sig'im juda kam bo'lib, haroratning ortishi bilan dastlab C_v absolut 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 $\left(C_v = 25 \frac{J}{mol \cdot grad} \right)$ empirik 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 ham 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 tebranish qilib, unda eng kichik va eng katta chastotalar uchraydi. Kichik tebranishlarga kristall atomining elastik tebranishlari, tovush tebranishlarga 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 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 aytadi. Debay nazariyasiga ko'ra issiqlik sig'im biror o haroratdan boshlab (bu harorat Debayning xarakteristik harorati deyiladi) harorat pasayishi bilan sig'im juda tez kamayadi. Bu harorat atom issiqlik harakatining energiyasi, ossilyatorning 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 absolut haroratning kubiga to'g'ri mutanosib bo'ladi:

$$C_V = aT^3$$

bu yerda

$$a = \frac{12}{5} \pi^4 R \theta^{-3}$$

$T \gg \theta$ hollarda esa $C_V = 3R$ ga teng. *Debayning 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 (αT^3) ga bo'ysunadi.

Sig'imni o'lchash va uning haroratga bog'lanishini aniqlash qattiq jismlarning strukturasi o'rganishda juda katta rol o'ynaydi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): issiqlik sig'imi, harorat, erkinlik darajasi, termodinamik muvozanat, Bolsman taqsimoti, bitta molekulaning o'rtacha energiyasi, o'rtacha molekulalar soni, normallashtirish sharti, statistik yig'indi, ichki energiya, issiqlik sig'imi, Eynshteyn formulasi, Dyulong va Pti qonuni, absolut 0 harorat, Debay harorati, Debayning xarakteristik harorati, Debay qonuni.

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,

$$k = \frac{l}{\Delta l} \sigma = \frac{3 \cdot 32 \cdot 10^6}{0,6 \cdot 10^{-3}} \text{ N/m} = 16 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

2-masala

Mis sharni 0°C dan boshlab isitilganda uning hajmi 10 sm³ ga oshdi. Isitish uchun sarflangan issiqlik miqdorini toping.

Berilgan:

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$\Delta V = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$c = 3,8 \cdot 10^2 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\rho_0 = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = ?$$

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 β – hajmiy kengayish koeffitsiyenti, $V_0 = 0^\circ\text{C}$ 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 $t_1 = 0^\circ\text{C}$ 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 $5,72 \cdot 10^8 \text{ Pa}$, 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 $E = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

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 σ ni topamiz va elastiklik chegarasi σ_{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 cm^2 bo'lgan po'lat sterjenga 5 t yuk osilgan. Agar po'latning cho'zilishida elastiklik chegarasi $1,25 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ 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 zahirasi quyidagi formuladan topamiz:

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ va } F=mg \text{ ekanligini e'tiborga olsak,}$$

$$n = \frac{\sigma_s S}{mg}$$

bo'ladi. Nisbiy uzayishni esa quyidagi formuladan topamiz:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{mg}{ES}$$

$F=mg$ deformatsiyalovchi kuchni va Δl absolut deformatsiyani bilgan holda elastik deformatsiya energiyasi W ni topamiz:

$$W = \frac{\Delta l \cdot F}{2}$$

Bu yerda,

$$\Delta l = \epsilon \cdot l = \frac{mg l}{ES}$$

Hisoblaymiz:

$$n = \frac{1,25 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{11} \cdot 9,8} \approx 5,1$$

$$\epsilon = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 9,8}{2,2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 9,8 \cdot 0,5}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 14,1$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

Agar 0,025 kG og'irlikdagi metall sharchani 10°C dan 30°C gacha isitish uchun 117 J issiqlik sarflangan bo'lsa, Dyulong va Pti qonunidan foydalanib, sharcha qanday materialdan yasalganligi aniqlansin.

Javob: 107 kg/kg·atom, sharcha kumushdan yasalgan.

Dyulong va Pti qonunidan foydalanib, alyuminiyning solishtirma issiqlik sig'imi platinaning solishtirma ossiqlik sig'imidan necha marta ko'pligi topilsin.

Javob: 7,2 marta.

400 m/s tezlik bilan qo'rg'oshin o'q devoriga uriladi va unda tiqilib qoladi. O'q kinetik energiyasining 10% uni sarf bo'ladi deb hisoblab,

o'qning necha gradusga isiganligi topilsin. Qo'rg'oshinning solishtirma issiqlik sig'imi Dyulong va Pti qonunidan topilsin.

Javob: 66°ga.

Mis (qalinligi $d_1=9$ mm) va temir (qalinligi $d_2=3$ mm) plastinkalar ustma-ust taxlangan. Mis plastinaning tashqi sirti $t_1=50^\circ\text{C}$ o'zgarmas haroratda, temirning tashqi sirti esa $t_2=0^\circ\text{C}$ haroratda saqlanadi. Plastinkalar bir-biriga tegib turgan sirtning t_x harorati topilsin. Plastinkalarning yuzi qalinligiga nisbati juda katta.

Javob: $t_x=34,5^\circ\text{C}$.

Devor tashqi sirtining harorati $t_1=-20^\circ\text{C}$, ichki sirtining harorati esa $t_2=+20^\circ\text{C}$ va uning qalinligi 40 sm. Agar devorning har 1 m² yuzdan bir soatda 110 kkal issiqlik o'tib tursa, devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin.

Javob: $\lambda=1,28$ vt/m grad.

Polining yuzi 4x5 m balandligi 3 m bo'lgan xona to'rtta gisht devori orqali bir minutda qancha issiqlik yoqotadi? Xonaning harorati $t_1=15^\circ\text{C}$, tashqi harorati esa $t_2=-20^\circ\text{C}$. G'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti 0,002 kal/grad-sm-s, devorning qalinligi 50 sm. Pol va ship orqali yo'qolgan issiqlik hisobga olinmasin.

Javob: $Q=1,9 \cdot 10^5$ J.

Temir sterjenning bir uchi 100°C haroratda saqlanadi, ikkinchi uchi esa muzga tegib turadi. Sterjenning uzunligi 14 sm, ko'ndalang kesimining yuzi esa 2 sm². Sterjen shunday izolyatsiyalanganki, uning aylanma sirti orqali yoqolgan issiqlik miqdorini nazarga olinmasa ham bo'ladi 1) Sterjen bo'ylab issiqlikning oqish tezligi, 2) 40 minutda crigan muzning miqdori topilsin.

Javob: 1) 2 kal/s; 2) 60 g.

Ko'ndalang kesimining yuzi $S=10$ sm² bo'lgan sterjenning $t_1=0^\circ\text{C}$ dan $t_2=30^\circ\text{C}$ gacha isitilganda cho'zilmasligi uchun uning uchlariga qanday kuch qo'yish kerak?

Javob: $F=7,1 \cdot 10^4$ N.

1 mm radiusli po'lat simga yuk osilga. Sim 20°C da qancha cho'zilgan bo'lsa, bu yuk ta'sirida ham shuncha cho'ziladi. Yukning og'irligi topilsin.

Javob: $P=149\text{ N}$.

150°C haroratli mis sim ikkita qo'zg'almas devor orasiga tarang qilib tortilgan. Sovitilganda sim qanday haroratda uziladi? Guk qonuni simning uzilishiga qadar o'rinli deb hisoblansin.

Javob: 20°C .

Biror metallni 0°C dan 500° gacha isitilganda uning zichligi 1,027 marta kamayagan. Haroratning berilgan intervalida bu metallning issiqlikdan chiziqli uzayish koeffitsiyentini o'zgarmas hisoblab, uning qiymati topilsin.

Javob: $\alpha=1,8 \cdot 10^{-5}\text{ grad}^{-1}$.

Har qanday haroratda po'lat sterjen mis sterjendan 5 sm uzun bo'lishi uchun po'lat va mis sterjenlarning 0°C haroratdagi uzunliklari qanday bo'lishi kerak?

Javob: $l_2=11\text{ sm}$; $l_1=16\text{ sm}$.

IX. BO'LIM

ERITMA VA QOTISHIMALAR

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. Masalan, suvli idish tubida joylashtirilgan kristallning (osh tuzi) crishi 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 erimaydi. 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 haroradan past haroratlarda kuzatiladi.

Raul erigan moddaning kam konsentratsiyalarida eritma to'yingan bug'larining elastikligi konsentratsiyaga mutanosib ckanligini 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.

$$\Delta T = E \frac{\lambda}{\mu}$$

bu yerda $E = \frac{2T^2}{G\lambda}$ – berilgan erituvchi uchun doimiy kattalik, g – Gramm erituvchida erigan moddaning gramm soni, μ – erigan moddaning molekular og'irligi, λ – 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 I va 2 qonunlari molekular og'irlikni aniqlashda ko'proq ishlatiladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): eritma, to'yingan eritma, erish, harorat, eruvchanlik, to'yingan bug' elastikligi, konsentratsiya, Raulning I qonuni, to'yingan bug' elastikligining kamayishi, eritmaning qaynash harorati, Raulning II qonuni, eritmaning qotish harorati, Raulning III qonuni, molekular og'irlik.

Disperslik to'g'risida tushuncha. Kolloidlار

Modda ichida boshqa bir moddaning ma'lum darajada maydalangan zarrachalar holida 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^{-6} m va 10^{-9} 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, sovitilganda 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'lumotlarga 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 nechta usulda ifodalash mumkin: hajm va og'irlik o'lchamlarida (birligida). Hajm birligida ifodalangan konsentratsiyaga – normal, molar, 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, ..., i moddalarning eritmadagi mol sonlari bo'lsa, i komponentning mol nisbati:

$$N = \frac{n_i}{\sum n_i}$$

Demak, $\sum N_i = 1$ bo'ladi.

Agar $N_i = 100 \cdot N_i$ bo'lsa, mol foiz bo'ladi. Bundan:

$$\sum N_i = \frac{n_i}{\sum n_i} 100,$$

$$\sum N_i = 100$$

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): modda, taqsimlanish, dispers sistema, kolloid eritma, chin eritma, elektrolit, noelektrolit, erituvchi, cruvchi, bir fazali, gomogen sistema, geterogen sistema, eritmaning tarkibi, konsentratsiya.

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 eritmalarga aytiladi.

Ideal eritmalarining termodinamik xossasi parsial molar kattaliklar yordamida ifodalaniladi. Masalan, bir mol eritma uchun

$$\Delta V = N_1 \Delta V_1 + N_2 \Delta V_2$$

$$\Delta H = N_1 \Delta H_1 + N_2 \Delta H_2 \quad (2)$$

$$\Delta S_{er} = N_1 \Delta S_{1,er} + N_2 \Delta S_{2,er}$$

va hokazo.

Ideal gazlar aralashganda entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S_{er} = -R(N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2)$$

(1) va (2) tenglamalardan:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 0 & \Delta V_1 &= 0 & \Delta S_{1,er} &= -R \ln N_1 \\ \Delta H_2 &= 0 & \Delta V_2 &= 0 & \Delta S_{2,er} &= -R \ln N_2 \end{aligned} \quad (3)$$

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 potentsialining o'zgarishi

$$\Delta\mu_i = \Delta H_i - T\Delta S_i \quad (4)$$

Ideal eritmalar uchun

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln N_i$$

$$d\mu_i = RT d \ln N_i = RT \frac{dN_i}{N_i} \quad (5)$$

$$\left(\frac{d\mu_i}{dN_i} \right) = \frac{RT}{N_i} \quad (6)$$

μ_i^0 va μ_j^0 toza erituvchi va eruvchining kimyoviy potentsiali bo'lsa:

$$\mu_i = \left(\frac{d\mu_i}{dN_i} \right)_{T,p} = \frac{RT}{N_i}$$

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln N_i$$

$$d\mu_i = RT d \ln N_i = RT \frac{dN_i}{N_i}$$

$$\left(\frac{d\mu_i}{dN_i} \right) = \frac{RT}{N_i}$$

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 eritmalarida $Q_2 = 0$ bo'lganligidan $Q = Q_1$ bo'ladi. Yani erish issiqligi eruvchining yashirin suyuqlanish issiqligiga teng.

Cheksiz suyultirilgan eritma bu xil eritmalarida erigan moddaning konsentratsiyasi cheksiz kichik bo'ladi.

Ideal bo'lmagan har qanday cheksiz suyultirilgan eritmalarida erituvchiga nisbatan ideal eritmalarining hamma tenglamalarini qo'llash mumkin.

Ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalar termodinamikasiga bo'ysunmaydigan eritmalar real eritmalar jumlasiga kiradi.

Real eritmalarining 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, γ – termodinamik faollik koeffitsiyenti (yoki faollik koeffitsiyenti), n – konsentratsiya.

Ideal va cheksiz suyultirilgan eritmalarida $\gamma=1$ va $a=ny$ zarrachalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini aks ettiradi, 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:

$$\mu_i = \mu_i^0 + R T \ln a_i$$

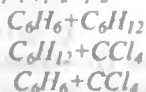
$$d\mu_i = R T \ln a_i, \quad (7)$$

ya'ni

$$\mu_1 = \mu_1^0 + R T \ln a_1; \quad d\mu_1 = R T \ln a_1$$

$$\mu_2 = \mu_2^0 + R T \ln a_2; \quad d\mu_2 = R T \ln a_2 \quad (8)$$

1,2 cruvchiga mansub belgilar; μ^0 – standart holatdagi kimyoviy potentsial deyiladi. Bir birida cheksiz nisbatda aralashadigan komponentlar eritmaları 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 aralashtirilganda $\Delta V=0$; $\Delta H=0$. Lekin entropiyaning o'zgarishi ideal gazdagidek bo'ladi, bir xil va har xil molekulalarning tortishuvi deyarli teng ya'ni ideal eritmaga yaqinlashadi. Shunga ko'ra, $\gamma=1$, $a=1$ qabul qilinsa, xato bo'lmaydi.

μ^0 – standart kimyoviy potentsial.

Kimyoviy potentsialni 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

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_1^0 \\ \mu_2 &= \mu_2^0 \end{aligned}$$

"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,

$$\mu_2=\mu_2^{0,II}$$

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): suyuqtirilgan eritma, real eritma, entropiyaning o'zgarishi, entalpiyaning o'zgarishi, hajmning o'zgarishi, kimyoviy potensialning o'zgarishi, erish issiqlik effekti, termodinamik faollik, termodinamik faollik koeffitsiyenti, konsentratsiya, komponentlarning kimyoviy potentsiali, standart holatlar.

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 π *osmotik bosim* deyiladi. Muvozanatda toza erituvchining kimyoviy potentsiali μ_1^0 o'zaro teng bo'ladi. Eritmadagi kimyoviy potentsiali osmotik bosim π 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 $d\mu_1^0=0$ 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 eritmadagi parsial mol hajmi.

Erituvchining eritmadagi parsial mol hajmi

$$\frac{d\pi}{dN_1} = \frac{1}{V_1} \left(\frac{d\mu_1}{dN_1}\right)_{T,n} \quad (4)$$

Bu tenglama osmotik bosimni eritmaning konsentratsiyasiga va erituvchining kimyoviy potentsialiga bog'lanishini ifodalaydi.

Agar eritma cheksiz suyuqtirilgan bo'lsa, erituvchining parsial mol hajmi V toza erituvchining molar hajmi d_1 ga teng, deb faraz qilish mumkin:

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln N_i;$$

$$d\mu_i = RT \ln N_i;$$

Bu tenglama e'tiborga olinsa (4) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\frac{d\pi}{d \ln N_1} = - \frac{RT}{V_1^*} \quad (5)$$

Bu tenglama 0 dan π gacha va N_1 dan 1 gacha integrallansa,

$$\pi = - \frac{2,3RT}{V_1^*} \lg N_1 \quad (6)$$

$\lg N_1$ qatorlarga ajratilsa, $\lg N_1 = -\lg(1-N_2) \approx N_2$

$$\pi = \frac{N_2 RT}{V_1^*}$$

va $\pi = \frac{N_2}{V_1^*} = C$ 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 eritmalaragagina mosdir.

Real eritmalar uchun:

$$\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i$$

Bu tenglamani N_1 - bo'yicha differensiallab (4) tenglamaga qo'yilsa:

$$\frac{d\pi}{dN_1} = \frac{RT}{V_1^*} \left(\frac{d \ln a_i}{dN_1} \right) \quad (8)$$

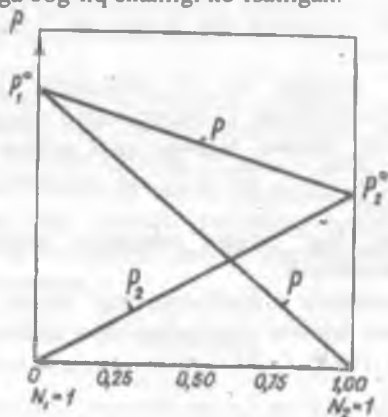
Bu tenglamada V - erituvchining parsial molar hajmi, real eritmalarda osmotik bosimning eritma konsentratsiyasiga qarab o'zgarishini ifoda qiladi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): osmos, osmotik bosim, kimyoviy potensial, eritma konsentratsiyasi, Vant-Goffning osmotik bosim qonuni, ideal eritma, real eritma.

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.

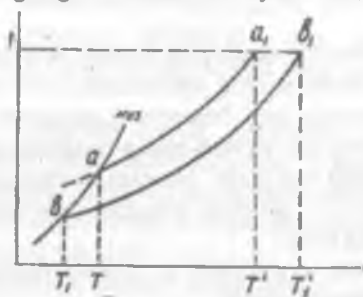
1-rasmda sof erituvchi bug' bosimi P_1^0 ning va eritma bug' bosimi P ning harorat bilan o'zgarishi tasvirlangan. Bundan harorat o'zgarishi bilan bug' bosimining naqadar keskin o'zgarishi bir fazadan ikkinchi fazaga o'tish issiqlik qiymatiga bog'liq ekanligi ko'rsatilgan.



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_1 haroratda muzning bug' bosimiga tenglashadi.

Demak, T suvning va T_1 eritmaning muzlash haroratidir. Diagrammada ko'rsatilishicha, T_1 hamma vaqt T dan past bo'ladi.

Shunday qilib, *eritma hamma vaqt erituvchiga nisbatan past haroratda muzlaydi*: $T > T_1$; $\Delta T = T - T_1$; ΔT – 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* $T_1 > T$; $\Delta T = T_1 - T$; ΔT – 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, ΔT ham ortadi:

$$\Delta T = EC \quad (1)$$

Bunda, C – molar konsentratsiya, E – faqat erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan mutanosiblik kattaligi. Agar $C=1$ bo'lsa, $\Delta T=E$ bo'ladi. Demak, E – bir molar eritma muzlash haroratining pasayishi (yoki qaynash haroratining ko'tarilishi), E kattalik muzlash haroratining molar pasayishi (qaynash haroratining molar ko'tarilishi), yohud *krioskopik konstanta* deyiladi.

Turli eruvchilarning qanday bo'lmasin biror erituvchidagi bir molar eritmasida erigan moddalarning molekullari 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 molekular massasi. G ning bu qiymatini (2) tenglamaga qo'yib, M topiladi:

$$M = \frac{E \cdot 1000}{G \cdot \Delta T} \quad (3)$$

Shunday qilib, *erigan moddaning molekular massasini, eritma muzlash haroratining pasayishidan foydalanib aniqlash mumkin.*

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): eritmaning bug' bosimi, erituvchining eritmadagi bug' bosimi, Raul qonuni, muzlash issiqligi, bug'lanish issiqligi, harorat, bosim, suyuq va qattiq moddalarning kimyoviy potentsiallari, muzlash, suyuq va qattiq moddalarning bug' bosimi, suyuqlikning bug' bosimi, atmosfera bosimi, suyuqlikning qaynashi, haroratning o'zgarishi, molar konsentratsiya, krioskopik konstanta, molekular massa.

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.

Absorbtiv bilan absorbsentning o'zaro ta'siriga ko'ra absorbsiya jarayoni ikki xil bo'ladi: fizik absorbsiya va kimyoviy absorbsiya (xemosorbsiya). Fizik absorbsiyada yutilayotgan gaz bilan absorbsent o'zaro bir-biri bilan kimyoviy birikmaydi. Agar yutilayotgan gaz absorbsent 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 jarayonlarni uzluksiz olib borish natijasida yutilgan gazni toza holda ajratib olish va yutuvchi absorbsentni bir necha marta qayta ishlatish imkoni tug'iladi.

Absorbtiv va absorbsent 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, krektinglangan gazlardan yoki metan pirolizidan atsetilen, koks gazi aralashmalaridan ammiak, benzolin; neftni qayta ishlash natijasida hosil bo'lgan gaz aralashmalaridan har xil uglevodород va shu kabilarni) ajratib olishda;

2) komponentlarni har xil zaharli moddalardan tozalash uchun (mineral o'g'itlarni olishda hosil bo'lgan gaz aralashmalarini flor birikmalaridan, ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini flor birikmalaridan ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini CO va CO₂ oksidlardan tozalashda);

3) tayyor mahsulotlar masalan SO₃ 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'zgarishi 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 ifodalanib, erigan gazning parsial bosimi eritmadagi uning mol qismiga mutanosibdir:

$$P_A = E \cdot X_A \quad (1)$$

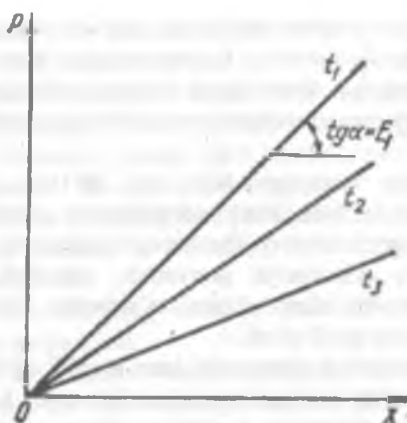
Suyuqlikdagi gazning eruvchanligi (yutilgan komponenti A) ma'lum haroratda uning suyuqlik yuzasidagi parsial bosimiga mutanosibdir:

$$X^* = P_A / E \quad (2)$$

Genri koeffitsiyentining miqdori berilgan gaz uchun yutilayotgan suyuqlik va gazning tarkibiga, 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'zgarmas 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): bug', gaz, komponentlar, suyuqlik hajmi, yutulish, adsorbsiya, adsorbktiv, adsorbent, desorbsiya, qaytar jarayon, sanoatda adsorbsiya, Genri qonuni, Genri koeffitsiyenti, harorat.

Adsorbsiya

Gaz aralashmalari hamda eritmalaridagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon qattiq jismlar yuzasi bo'ylab (adsorbentda) yutilish jarayoni **adsorbsiya** deyiladi. Yutiluvchi modda adsorbant yoki adsorbktiv 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.

Sanoatda absorbsiya jarayoni turli maqsadlarda qo'llaniladi:

1) gaz aralashmalaridan qimmatbaho komponentlarni (masalan, kreklinglangan gazlardan yoki metan pirolizidan atsetilen, koks gazi aralashmalaridan ammiak, benzolin; neftni qayta ishlash natijasida hosil bo'lgan gaz aralashmalaridan har xil uglevodород va shu kabilarni) ajratib olishda;

2) komponentlarni har xil zaharli moddalardan tozalash uchun (mineral o'g'itlarni olishda hosil bo'lgan gaz aralashmalarini flor birikmalaridan, ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini flor birikmalaridan ammiak sintez qilganda azot vodorod aralashmalarini CO va CO₂ oksidlardan tozalashda);

3) tayyor mahsulotlar masalan SO₃ 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'zgarishi 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 ifodalanib, erigan gazning parsial bosimi eritmadagi uning mol qismiga mutanosibdir:

$$P_A = E \cdot X_A \quad (1)$$

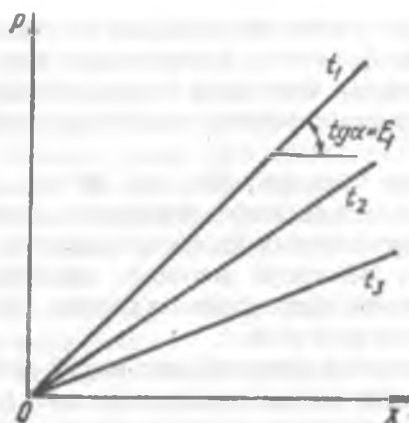
Suyuqlikdagi gazning eruvchanligi (yutilgan komponenti A) ma'lum haroratda uning suyuqlik yuzasidagi parsial bosimiga mutanosibdir:

$$X^* = P_A / E \quad (2)$$

Genri koeffitsiyentining miqdori berilgan gaz uchun yutilayotgan suyuqlik va gazning tarkibiga, 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'zgarmas 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): bug', gaz, komponentlar, suyuqlik hajmi, yutulish, adsorbsiya, adsorbktiv, adsorbent, desorbsiya, qaytar jarayon, sanoatda adsorbsiya, Genri qonuni, Genri koeffitsiyenti, harorat.

Adsorbsiya

Gaz aralashmalari hamda eritmalaridagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon qattiq jismlar yuzasi bo'ylab (adsorbentda) yutilish jarayoni **adsorbsiya** deyiladi. Yutiluvchi modda adsorbant yoki adsorbktiv 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, adsorbtivni 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, haroratga hamda gazlar yutilayotgan bo'lsa, bosimga ham bog'liq bo'ladi. Adsorbentning faollashgan yuzasi adsorbentning molekulari bilan to'yingandan keyin jarayon to'xtatiladi. Adsorbsiya jarayonining 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'ovaklamiki 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 qatlamli 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'ldi. Shuning uchun jarayon davomida mikrog'ovakli adsorbentlarning yuzasida yutilgan modda qatlamining 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 faolligidan qat'iy nazar, zichligi, ekvivalent diametri, mexanik mustahkamligi, granulometrik tarkibi, yutish yuzasining birlik hajmi bilan tavsiflanadi.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): gaz aralashmasi, critma, komponentlar, g'ovaksimon qattiq jism, yuza, yutilish, adsorbsiya, adsorbent, adsorbktiv, desorbsiya, komponentning konsentratsiyasi, adsorbsiya jarayonlari, fizik adsorbsiya, xemosorbsiya, harorat, adsorbsiya jarayonining tezligi, solishtirma yuza, monoadsorbsiya, poliadsorbsiya, muvozanat, faollik.

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 xossalari 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 xossalari 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 crib, 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 haratlari 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 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 xossalariga 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 xossalar 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 1mm^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 iplarini tayyorlash va boshqa maqsadlar uchun ishlatiladi.

Chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyenti metallar va qotishmalarning isitilgan vaqtdagi kengayish qobiliyatini tavsiflaydi. Materiallarning bu xossasi ko'prik fermalari qurishda, temir yo'l va tramvay relslari yotqizishda, aniq ishlovchi asboblari, o'lchov asboblari va shu kabilar tayyorlashda katta ahamiyatga ega.

Kimyoviy xossalar 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 xossalarini bilish katta ahamiyatga ega.

Mexanik xossalar metall yoki qotishmaning tashqi kuchlar ta'siriga (cho'zilish, siqilish, unilish, egilish, qayrilish va hokazolarga) qarshilik ko'rsata olish qobiliyatini tavsiflaydi. Asosiy mexanik xossalar 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 yuza birligiga to'g'ri kelgan quvvatning (ishning) standart namunani buzish uchun sarflangan miqdor bilan o'lchanadi. Zarbiy qovushqoqlik 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, resсорalar, 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'xtatgandan 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.

Tayanch iboralar (kalit so'zlar): suyuqlantirish, qotishma, metall qotishma, psevdqotishma, kristallanish, mexanikaviy aralashma, qotishma xossalari, fizik xossa, kimyoviy xossa, mexanik va texnologik xossa, suyuqlanish harorati, elektr o'tkazuvchanlik, chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyenti, korroziya bardoshlik, zarbiy qovushqoqlik, cho'ziluvchanlik, egiluvchanlik.

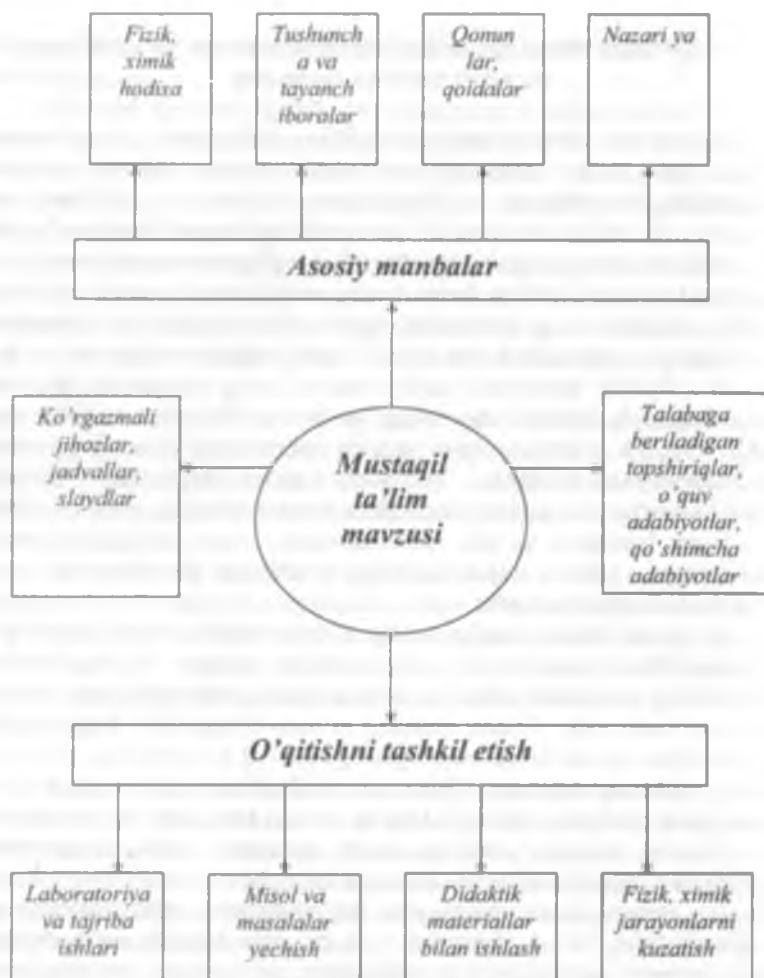
Talabalar "Mustaqil ta'limi" ni shakllantirish va tashkil etish bo'yicha taklif va tavsiyalar

O'zbekiston Respublikasi mustaqillikka crishgandan 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 qonunning 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 tajribalami tahlil etish va umumlashtirish asosida mamlakatni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirish istiqbollariga 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.

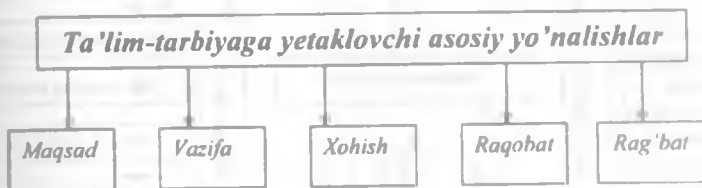
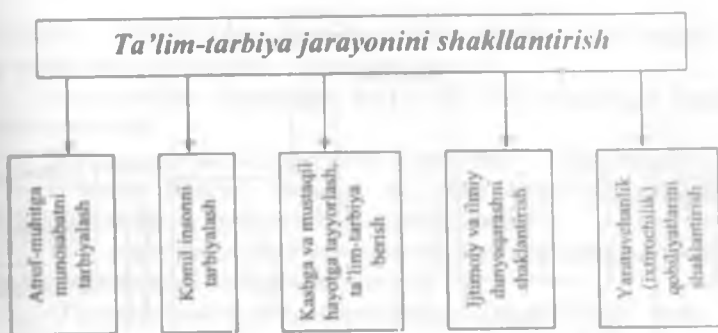
Respublikamizda yaratilgan Oliy ta'lim yo'nalishlari bo'yicha o'quv rejalarida "Mustaqil ta'limga" keng ahamiyat berilgan. Mustaqil ta'lim talabalarning o'z ustida ishlashi, dunyoqarashini shakllantirishiga muhim ahamiyat kasb etadi. Talaba mustaqil ta'limi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus 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:

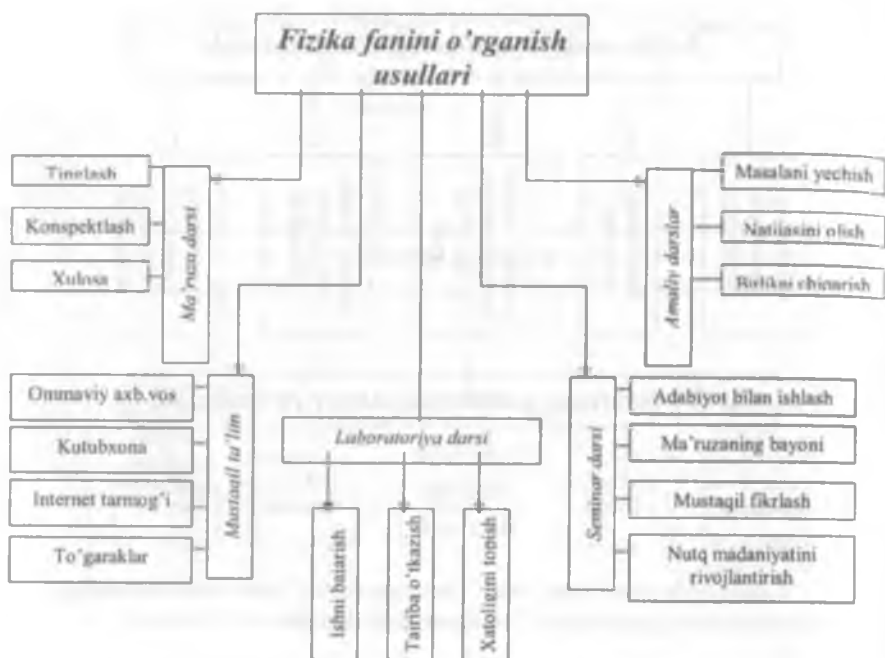


O'quv jarayonini tashkil etishda talabalar bilim darajasi, xohishi va hokazo e'tiborga olinishi zarur. Biz quyida ta'lim jarayonini shakllantirish va ta'lim-tarbiyaga yetaklovchi omillarga e'tibor qaratishni lozim topdik:



Talabalar uchun biz quyida "Umumiy fizika" dan umumlashtirilgan va sistemalashtirilgan Mustaqil ta'limni tashkil etishni taklif etamiz:





Havola etilayotgan bu taklif va tavsiyalar talabalarning mustaqil ta'limni muvaffaqiyatli o'zlashtirishlariga imkon yaratadi, degan umiddamiz.

Fizika fanini o'qitishda ilg'or pedagogik texnologiyalardan foydalanish

Ta'lim jarayonini samarali tashkil etish va uni yuqori darajalarga ko'tarish shu asosda yosh avlodni kamil inson hamda malakali mutaxassis qilib tarbiyalash biz pedagoglar oldidagi asosiy vazifadir. Bunday vazifalarni bajarish uchun pedagog yuqori bilim va saviyaga ega bo'lishi hamda zamonaviy ta'lim texnologiyalarining mazmun-mohiyatidan xabardor bo'lishi zarur. Ta'lim jarayonini zamonaviy texnologiyalar asosida tashkil etish o'quvchi (talaba)ning mavzuni har tomonlama puxta egallashiga keng imkoniyatlar yaratadi. **Pedagogik texnologiya** – aniq maqsadga yo'naltirilgan va shu maqsad natijasini kafolatlovchi pedagogik faoliyatdir. Biz quyida Fizika fanidan mustaqil ta'lim darslarini mazmunli

o'tishi uchun mavzularga oid "Krossvordlar" tuzishni taklif etamiz va uning afzalliklari quyidagilardan iborat deb bilamiz:

1. Krossvordlar o'tilayotgan dars sifati va mazmuniga yanada mazmun kasb etadi;

2. Mavzuni yanada kengroq va aniq yoritishda yordam beradi;

3. O'quvchi (talaba) mavzuga oid yangi krossvordlar topishda adabiyotlardan kengroq foydalanadi, o'z ustida izlanadi;

4. Dars o'quvchi (talaba) va o'qituvchi orasidagi keng savol-javob hamda bahs-munozarali bo'lishini ta'minlaydi

5. O'quvchi (talaba) ning o'qitilayotgan fanga bo'lgan mehri va qiziqishi ortadi.

FIZIK KATTALIKLARGA DOIR KROSSVORDLAR

h	v	v	o	v	t	o	r	o	m	t	t
i	t	m	t	t	k	k	a	t	m	o	k
t	d	u	t	i	m	i	t	o	a	t	u
s	d	n	d	i	p	s	k	m	e	t	n
m	o	m	a	n	u	t	u	b	a	r	o
t	t	r	v	a	m	p	ch	r	t	t	m
m	o	m	a	q	t	t	t	t	t	t	t
a	n	e	t	t	b	k	m	t	t	y	a
t	i	t	t	t	o	s	i	m	k	t	i
t	a	r	o	a	s	m	t	t	t	o	y
g	r	a	t	i	m	i	t	t	t	i	a
t	m	m	s	q	i	ch	t	i	g	k	m
o	a	a	q	q	r	m	t	n	t	a	m
n	n	t	t	a	d	a	s	t	t	e	t

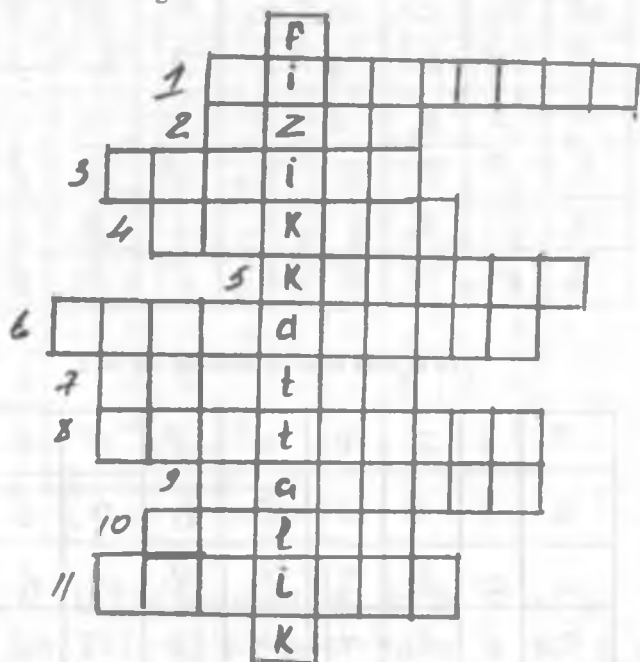
M	K	U	C	H	H	A	R	A	T	A	E	N	E	R	G
A	Y	A	T	B	O	M	A	R	Y	A	K	I	K	I	N
K	U	N	M	S	I	O	R	I	A	N	A	M	E	Y	A
L	C	H	I	A	S	K	T	M	E	X	C	H	T	I	K
A	N	K	A	S	E	A	A	V	R	A	S	T	O	T	
H	I	T	O	K	T	R	D	R	M	I	N	I	K	A	
K	T	I	K	A	Y	D	T	E	O	D	A	M	A	H	
E	R	T	A	M	N	O	T	T	E	T	K	C	H	T	A
L	O	A	A	R	Q	U	A	A	R	O	A	I	A	R	
K	S	T	Z	Y	A	D	V	V	M	I	Y	A	Z	G	R

m	o	e	y	a	z	x	e	t
z	a	s	s	a	m	e	a	n
i	i	k	d	d	o	t	sh	i
ch	e	t	a	m	m	o	b	i
e	z	e	g	i	k	k	s	y
i	u	g	d	o	u	n	i	e
k	j	s	a	z	ch	a	k	i
a	j	s	y	i	i	y	i	g
t	m	a	o	e	e	n	e	z

10 ta fizik olim va fizikaga oid so'z

k	e	z	e	z	f	o	z	d
d	e	t	z	e	k	u	e	a
i	m	t	o	e	d	i	f	f
n	o	e	m	a	y	i	z	u
a	m	z	k	b	e	e	z	p
s	p	e	i	e	a	k	s	a
k	e	sh	s	s	s	i	g	e
t	t	u	e	i	d	u	k	i
z	o	j	k	u	n	a	t	t

1. Massa birligi. 2. Boshlang'ich nuqtasi tekislik yoki fazoning istalgan nuqtasida yotishi mumkin bo'lgan vektor. 3. Absolut harorat birligi. 4. Vaqt birligi. 5. Faqat son qiymatga ega kattalik. 6. Fazoviy burchak birligi. 7. Son qiymat va yo'nalishga ega kattalik. 8. Ikkita vektor ko'paytmasi. 9. Yorug'lik kuchi birligi. 10. Magnit induksiya vektori birligi. 11. Burchak birligi.



Javoblar: 1. Kilogramm. 2. Ozod. 3. Kelvin. 4. Sekund. 5. Skalyar. 6. Steradian. 7. Vektor. 8. Vektorial. 9. Kandela. 10. Tesla. 11. Radian.

FIZIK OLIMLAR NOMI HAQIDAGI BOSHQOTIRMALAR

N	P	A	A	L	L	S	B	E	L	L	
Y	N	S	K	B	O	M	V	O	L	T	
T	O	A	E	R	N	A	A	R	M	E	
K	E	M	P	E	Y	A	N	X	I	D	
V	A	G	I	L	P	L	K	S	H	T	E
I	N	A	L	A	V	M	E	N	N	R	
M	E	L	A	G	O	L	E	D	R	E	
A	V	R	D	K	L	E	V	E	V	E	L
K	S	O	E	P	A	B	E	K	K	K	
Y	N	G	V	R	O	N	N	L	P	E	
F	R	T	O	L	D	A	O	E	R	L	
I	E	S	N	E	V	L	T	R	A	U	
Z	M	G	E	T	O	N	O	S	V	A	
O	O	T	N	E	Z	F	O	M	O	T	
R	Y	O	R	E	R	E	R	R	D	T	T

g	a	l	i	l	e	y	k
m	l	e	e	z	z	a	o
l	e	f	a	z	x	i	p
n	d	e	d	a	e	m	e
n	y	y	z	z	d	n	z
n	u	a	e	e	g	e	n
o	t	m	p	n	t	k	i

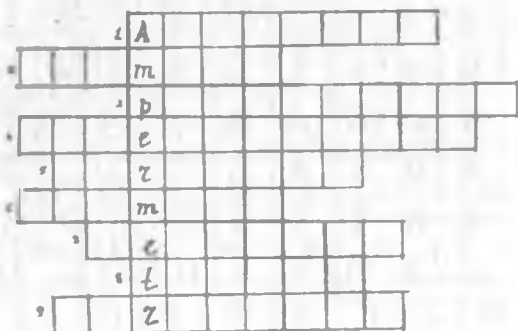
K	U	L	F	S	H	I	L	L	X
M	I	O	A	R	A	D	G	I	N
N	L	N	V	R	M	E	R	D	G
E	L	A	O	E	P	Y	O	E	T
K	I	T	L	O	M	G	E	R	S
M	Z	E	S	Y	N	I	L	V	O
O	R	E	N	U	A	L	E	O	P
L	E	L	O	T	G	A	Y	P	A
G	T	O	T	S	I	R	I	X	R
Y	U	G	E	N	S	X	M	E	D

FIZIK BIRLIKLAR HAQIDA BOSHQOTIRMALAR

h	p	n	i	l	o	m	r	s	g
yu	t	e	k	r	v	e	t	r	e
o	j	s	d	a	a	t	a	r	r
u	l	u	i	t	t	u	r	e	e
s	a	t	ch	a	p	a	a	p	m
a	n	o	t	s	k	s	o	r	g
i	t	r	a	m	a	l	m	g	i
m	e	t	d	p	e	r	e	t	r
v	r	v	a	s	p	t	r	e	d
o	l	t	k	i	x	e	m	a	i
g	o	l	i	o	r	o	m	r	k
r	a	m	m	m	t	t	e	t	i
b	e	l	l	i	d	a	v	o	l
k	o	n	p	o	ya	e	g	l	u
u	l	e	t	r	i	m	a	j	o

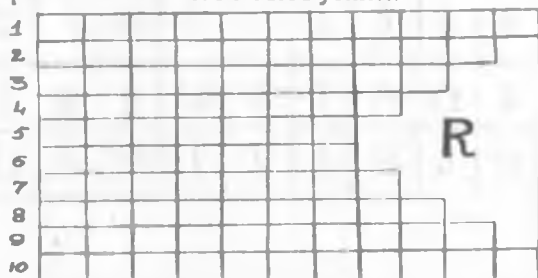
FIZIK ASBOBLAR HAQIDA KROSSVORDLAR

1. Suyuqlik zichligini o'lchovchi asbob. 2. Qarshilikni o'lchovchi asbob. 3. Havoning nisbiy namligini o'lchovchi asbob. 4. Tezlanishni o'lchovchi asbob. 5. Atmosfera bosimini olchovchi asbob. 6. Kuchlanishni o'lchovchi asbob. 7. Suyuqlik hajmini o'lchovchi asbob. 8. Massani o'lchovchi asbob. 9. Haroratni o'lchovchi asbob.



Javoblar: 1. Ariometr. 2. Avometr. 3. Psixrometr. 4. Akselerometr. 5. Barometr. 6. Voltmetr. 7. Menzurka. 8. Tarozi. 9. Termometr.

1. Kuchlanishni o'zgartirib beruvchi reostat. 2. Kuchsiz toklarni o'lchovchi asbob. 3. Jismlarning elektrlanishini amalga oshiruvchi asbob. 4. Tok kuchini o'lchovchi asbob. 5. Kuchlanishni o'lchovchi asbob. 6. Quvvatni o'lchovchi asbob. 7. Mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi asbob. 8. Elektr tebranishlarni hosil qiluvchi asbob. 9. Elektr energiyasini to'plovchi asbob. 10. Fotodiod yoki....

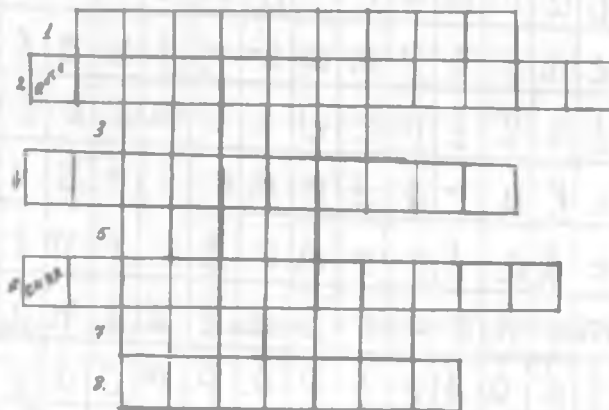


Javoblar: 1. Potensiometr. 2. Galvanometr. 3. Elektrofor. 4. Ampermetr. 5. Voltmetr. 6. Vattmetr. 7. Generator. 8. Tranzistor. 9. Kondensator. 10. Fotorezistor.

Ariometr-akselorometr-avometr-barometr-bolometr-vattmetr-
voltage-dinamometr-gigrometr-monometr-menzurka-psixrometr-ruletka-
sekundomer-spidometr-tarozi-termometr-termistor-taxometr-chastotamer-
elektrometr.

a	z	i	o	a	k	s	e	l	g	m	e	e	z	o
b	a	r	m	e	r	r	o	o	l	o	t	l	t	m
e	m	o	e	p	m	a	z	r	g	z	z	e	k	e
t	z	z	t	m	e	t	i	o	m	e	t	z	t	t
e	l	u	r	a	t	r	m	e	t	r	o	x	a	r
t	k	a	t	e	r	m	o	t	r	r	m	e	t	r
m	e	n	z	u	r	s	m	e	e	t	n	u	s	r
i	d	a	k	r	t	p	o	p	m	o	d	k	e	t
n	a	m	o	m	e	t	d	s	i	x	r	o	m	e
a	v	o	v	o	l	t	m	e	e	t	s	t	e	m
t	o	m	r	t	e	m	o	t	m	r	i	o	t	a
m	k	e	t	r	b	o	l	r	t	t	m	r	o	t
o	n	o	m	e	t	r	v	a	t	e	r	ch	a	s

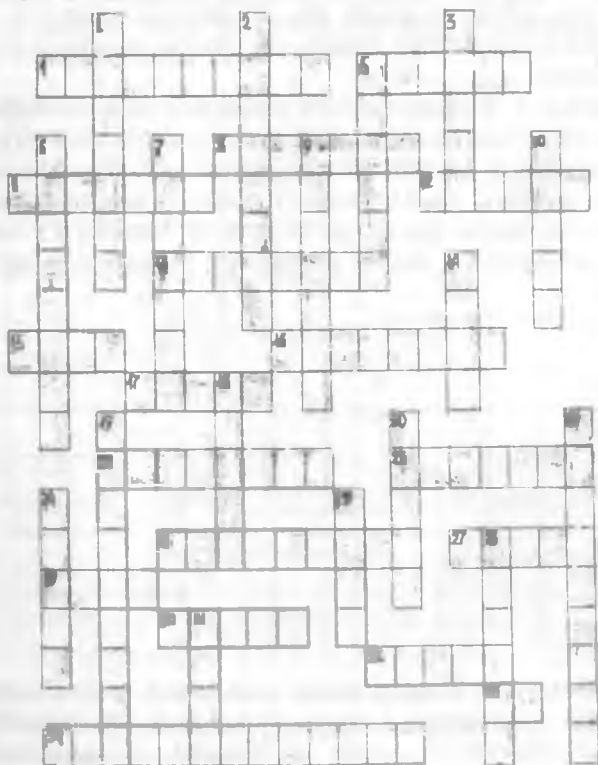
1. Yoritilganlikni o'lchovchi asbob. 2. Fotograflar fotosurat olishda foydalanadigan asbob. 3. Ikki sferik sirt bilan chegaralangan shaffof jism. 4. Ekranda shaffof jismlarni ham shaffof bo'lmagan jismlarni ham tasvirini hosil qilishda imkon beradigan proeksion apparat. 5. Ko'zni zo'rqiqtirmay turib ko'rish burchagini oshirish uchun ishlatiladigan asbob. 6. Zaryadli zarralarni tezlatuvchi oraliqlardan ko'p marta o'tish prinsipida ishlaydigan asbob. 7. Zarralarni qayd qiluvchi asbob. 8. Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra qoldirgan izni kuzatish imkonini beruvchi kamera.



Javoblar: 1. Lyuksmetr. 2. Fotoeksponometr. 3. Linza. 4. Epidioskop. 5. Lupa. 6. Sinxrofazotron. 7. Schyotchik. 8. Vilson.

Bo'yiga: 1. Nyuton 1-qonuning yana qanday qonun deb yuritiladi? 2. Dinamik va gidrostatik bosimlar yig'indisi o'zgarmas kattalik, bu qonun kimga tegishli? 3. Sferik sirt bilan chegaralangan shaffof jism. 6. Kuchlanishni o'lchovchi asbob. 7. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimlanishini nazariy jihatdan aniqlagan ingliz olimi. 9. X-nurlar. 10. Majburiy nurlanish natijasida optik diapazonda monoxromatik elektromagnit to'lqinlarni chiqaruvchi asbob. 14. Yarim o'tkazgichli asbob. 18. Boshiga olma tushgan olim. 19. G'altakdan hosil bo'lgan elektr asbob. 20. Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari e'tiborga olinmaydigan gaz. 21. Havodagi suv bug'larining shudring nuqtasini o'lchovchi asbob. 24. Arximed: "Menga tayanch nuqtasini toping va Men butun Yer kurrasini ko'taraman". 25. Van-der-Vaals gazlari. 28. Materiyaning tarkibiy qismi. 31. Manfiy zaryadlangan qutb.

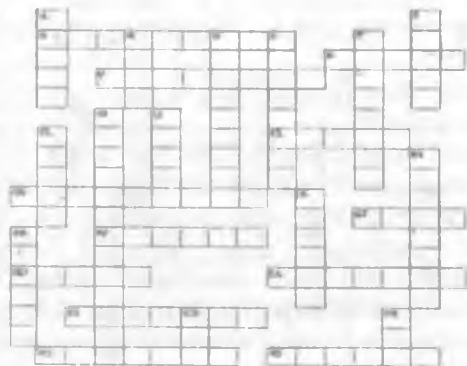
Eniga: 1. 4. Kuchni o'lchovchi asbob. 5. Fizikaning eng qorong'u sohasi. 8. Jismning ish bajarish qobiliyatini tavsiflovchi kattalik. 11. Bitta molekulaning haroratini 1 K.ga ko'tarish uchun bajarilgan ish. 12. Muvozanatda turgan suyuqlik yoki gazga berilgan bosim har nuqtaga o'zgarishsiz uzatiladi (qonun kimga tegishli). 13. Fotoeffekt hodisasini o'rgangan rus olimi. 15. Chastota birligi. 16. Osmon jismlarini kuzatishda ishlatiladigan asbob. 17. Issiqlik nurlanishda nurlanishning kvant nazariyasini birinchi o'rgangan olim. 22. Nisbiylik nazariyasining asoschisi. 23. Linza optik kuchining birligi. 26. Atmosfera qatlami. 27. Tok kuchining birligi. 29. Atom markazi. 30. Neftni o'lchashda ishlatiladigan o'lchov birlik. 32. Musbat zaryadlangan qutb. 33. Zanjimning bir qismidagi tok kuchi shu qismga qo'yilgan kuchlanishga to'g'ri, qarshilikka teskari mutanosib (qonun kimga tegishli?). 34. Bosim, hajm va harorat bog'liq bo'lgan sistema.



Javoblar: 1. Inersiya. 2. Bernulli. 3. Linza. 4. Dinamometr. 5. Optika. 6. Voltmetr. 7. Maksvell. 8. Energiya. 9. Rentgen. 10. Lazer. 11. Bolsman. 12. Paskal. 13. Stolctov. 14. Diod. 15. Gers. 16. Teleskop. 17. Plank. 18. Nyuton. 19. Generator. 20. Ideal. 21. Gigrometr. 22. Eynshteyn. 23. Dioptriya. 24. Tayanch. 25. Real. 26. Ionosfera. 27. Amper. 28. Maydon. 29. Yadro. 30. Barel. 31. Anod. 32. Katod. 33. Om. 34. Termodinamika.

Bo'yiga: 1. Elektr sig'im birligi. 2. Birlik yuzaga perpendikulya ta'sir etuvchi kuchga son jihatdan teng bo'lgan kattalik. 4. Elementar zarra. 5. Haroratni o'lchovchi asbob. 6. Qattiq modda holati. 7. Havo namligini o'lchovchi asbob. 10. Bosim, hajm va haroratga bog'liq sistema. 11. Qattiq modda holati. 12. Butun olam tortishish qonunini yaratgan olim. 14. Jismning o'zining muvozanat holati atrofidagi davriy harakati. 16. Birlik vaqt ichida bajarilgan ish. 18. Bepoyon olam. 23. Zaryadning o'tkazgich bo'yab tartibli harakati. 24. Umumiy bajarilgan ishning foydali ishga nisbati.

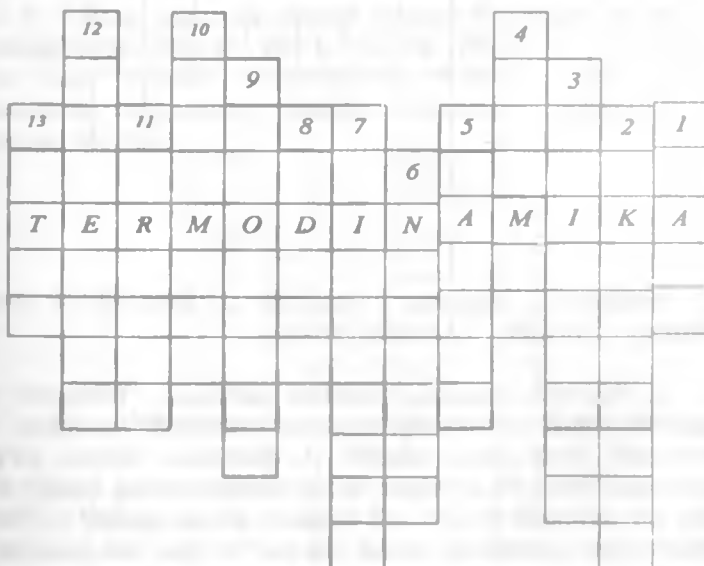
Eniga: 3. Sistemada issiqlik almashinuvisiz kechadigan jarayon. 8. Jismda bor bo'lgan modda miqdori. 9. Geliosentrik nazariya asoschisi. 13. Tok kuchi birligi. 15. Atmosferaning qatlami. 17. Chastotaning birligi. 19. Harakat miqdori. 20. Molekulalari o'zaro to'qnashmaydigan gaz. 21. Cho'zilmas, vaznsiz ipga osilgan sharcha. 22. Jismning o'z harakati tufayli olgan energiyasi. 25. Skalyar kattalik. 26. Fizikaning yorug'lik haqidagi bo'limi.



Javoblar: 1. Farad. 2. Bosim. 3. Adiabatik. 4. Atom. 5. Termometr. 6. Kristall. 7. Barometr. 8. Massa. 9. Kopernik. 10. Termodinamika. 11. Amorf. 12. Nyuton. 13. Amper. 14. Tebranish. 15. Ionosfera. 16. Quvvat.

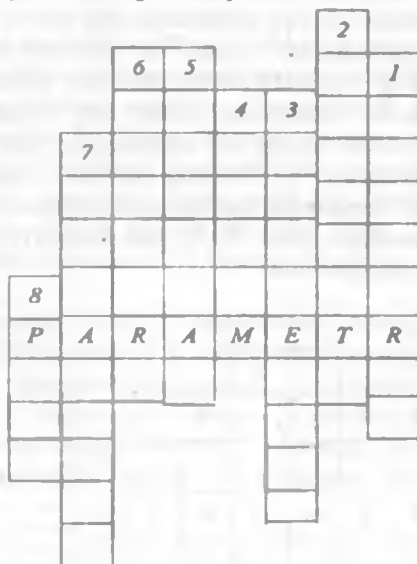
17. Gers. 18. Koinot. 19. Impuls. 20. Ideal. 21. Mayatnik. 22. Kinetik. 23. Tok. 24. F.I.K. 25. Statik. 26. Optika.

1. $V = \text{Const}$ bo'lganda, berilgan gaz massasining bosimi harorat o'zgarishi bilan chiqiqli o'zgarishi kim tomonidan aniqlangan? 2. Atmosferaning eng yuqori qatlami. 3. Tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvi bo'lmaganda kechadigan jarayon. 4. $T = 0^\circ\text{S}$ va $P = 760$ mm. Hg. ustinidagi sharoit. 5. Gaz aralashmasining bosimi alohida olingan gaz bosimlarining yig'indisidan iborat, bu kimning qonuni? 6. Neytral elementar zarracha. 7. Modda molekulalarining aralashib ketish hodisasi. 8. Molekular-kinetik nazariyada qanday gaz qaraladi? 9. Har qanday moddaning bir molida qancha son molekula bo'ladi? 10. $n = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-3}$ son qanday nomlanadi? 11. Musbat zaryadli elementar zarracha. 12. O'zida kimyoviy elementning barcha xususiyatlarini saqlagan va mustaqil mavjud bo'la oladigan zarra. 13. O'zida kimyoviy elementning barcha xususiyatlarini saqlagan zarra.



Javoblar: 1. Sharl. 2. Ekzosfera. 3. Adiabatik. 4. Normal. 5. Dalton. 6. Neytron. 7. Diffuziya. 8. Ideal. 9. Avogadro. 10. Loshmidt. 11. Proton. 12. Molekula. 13. Atom.

1. Gaz bosimi o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayon. 2. Atmosfera bosimini o'lchovchi asbob. 3. Gaz harorati o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayon. 4. Birlik perpendikulyar ravishda ta'sir etuvchi kuchga son jihatidan teng bo'lgan kattalik. 5. Bitta molekula haroratini 1°S ga ko'tarish uchun bajarilgan. 6. Gaz hajmi o'zgarmas bo'lganda kechadigan jarayon. 7. Qanday jarayonda sistema ichki energiyasining kamayishi hisobiga ish bajaradi? 8. 10^{-12} o'lcham.



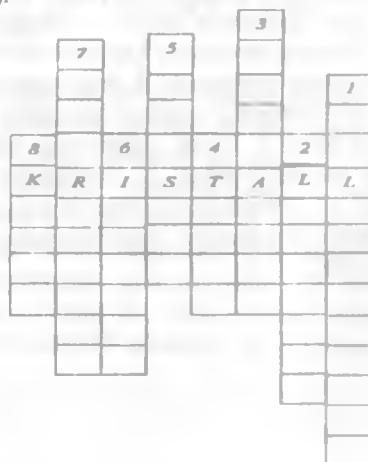
Javoblar: 1. Izobarik. 2. Barometr. 3. Izotermik. 4. Bosim. 5. Bolsman. 6. Izoxorik. 7. Adiabatik. 8. Piko.

1. Suyuqlik bosimini o'lchovchi asbob. 2. "Birdan-bir natijasi issiqlikni ishga aylantiradigan davriy jarayonni amalga oshirib bo'lmaydi" ibora kimga tegishli? 3. Molekular fizikada ko'p sonli molekulalar bilan ish ko'rilgani uchun molekulalarning qanday tezliklari bilan ish yuritiladi? 4. $C_p = C_v + R$ tenglama kimga tegishli? 5. "Sistemani tashkil qilgan jismlarning harorati eng past bo'lgan jism issiqligini ishga aylantiradigan issiqlik mashinasini qurish mumkin emas" iborasi kimga tegishli?



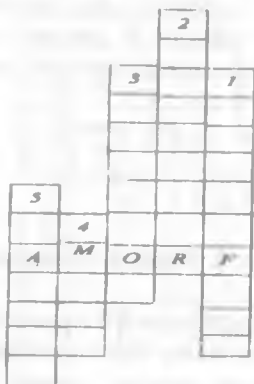
Javoblar: 1. Manometr. 2. Plank. 3. O'rtacha. 4. Mayer. 5. Kelvin.

1. Bir necha monokristalldan tashkil topgan kristall. 2. Yerning ustki qatlami. 3. Yo'nalishlari bo'yicha fizik xossalari o'zgaradigan kristall xossasi. 4. Kristall panjarada atomlar qayerda joylashgan bo'ladi? 5. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni. 6. Yo'nalishlari bo'yicha fizik xossalari o'zgarmaydigan kristall xossasi. 7. Yer atmosferasining uning sirtiga beradigan bosimini aniqlagan olim. 8. Aylanma jarayon (sikl).



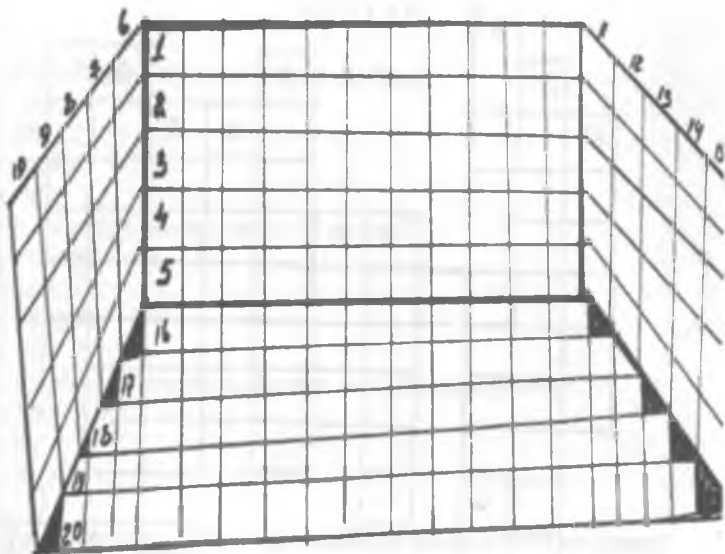
Javoblar: 1. Polikristall. 2. Litosfera. 3. Anizotrop. 4. Tugun. 5. Maksvell. 6. Izotrop. 7. Torrichelli. 8. Karno.

1. Bizni (Yerni) qurshab olgan havo qatlami. 2. Turli balandliklardagi atmosfera bosimini topishga imkon beradigan formula. 3. Molekulasining tezligi eng katta bo'lgan element. 4. Yakka. 5. O'z shakli va hajmini saqlay oladigan holat.



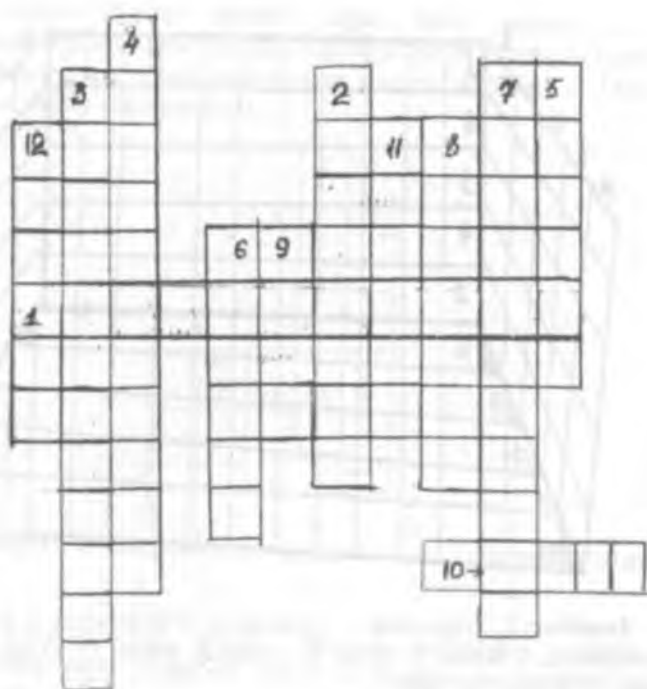
Javoblar: 1. Atmosfera. 2. Barometrik. 3. Vodorod. 4. Mono. 5. Qattiq.

1. Atmosferaning asosiy massasi joylashgan qatlam. 2. Atmosferaning qaysi qatlamida sun'iy yo'ldoshlar va kosmik kemalar harakatlanadi. 3. Yerning suv qobig'i qanday nomlanadi? 4. Temir, nikel, xrom qotishmasi qanday nomlanadi? 5. Volt qaysi fizik kattalikning asosiy o'lchov birligi? 6. Harakatsiz nuqtaviy zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini aniqlagan olim. 7. Elektr sig'imining birligi. 8. Tok kuchining birligi. 9. Magnit oqimning birligi. 10. Induktivlik birligi. 11. Qattiq jism (metall)lardan biri. 12. Termometrik suyuqlik nomi. 13. Harorat -40°C dan yuqori haroratlarni o'lchashga mo'ljallangan termometrlar uchun termometrik suyuqlik.



Javoblar: 1. Troposfera. 2. Termosfera. 3. Gidrosfera. 4. Superinvor. 5. Kuchlanish. 6. Kulon. 7. Farad. 8. Amper. 9. Vcber. 10. Genri. 11. Temir. 12. Simob. 13. Spirt.

1. Modda molekularining o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi. 2. Suyuqliklarning erkin sirtidan molekularning uchib chiqishi. 3. Suv bug'larining qayta suyuqlikka aylanish jarayoni. 4. Moddaning qattiq holatdan birdaniga gaz holatiga o'tish jarayoni. 5. Suyuqlikning butun hajmi bo'ylab bug' hosil bo'lish jarayoni. 6. Suyuqlik egrilik sirti. 7. Qattiq jismning tashqi ta'sir natijasida o'z shakli va o'lchamini o'zgartirishi. 8. Mineralshunos qomusiy olim. 9. Moddaning qattiq holatdan suyuq holatga o'tishi. 10. Sferik sirtlar bilan chegaralangan shaffof jism. 11. Musbat zaryadli zarracha. 12. Yadrosida protonlar soni bir xil bo'lgan element.



Javoblar. 1. Temperatura. 2. Bug'lanish. 3. Kondensatsiya. 4. Sublimatsiya. 5. Qaynash. 6. Menisk. 7. Deformatsiya. 8. Beruniy. 9. Erish. 10. Linza. 11. Proton. 12. Izotop.

TESTLAR

1. 1 mm. simob ustuni necha Pa. ga teng?
 - A. 133,3
 - B. 101325
 - C. 98000
 - D. 760
2. 1 atmosfera bosimi necha Pa ga teng?
 - A. 101325
 - B. 133,3
 - C. 9800000
 - D. 760
3. 1 atmosfera bosimi necha mm. simob ustuniga teng?
 - A. 760
 - B. 98
 - C. 1
 - D. 133
4. Atmosferaning Yer sirtiga beradigan bosimini kim aniqlagan?
 - A. Torrichelli
 - B. Paskal
 - C. Arximed
 - D. Aristotel
5. 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
6. Molekular-kinetik nazariyada qanday gaz o'rganiladi?
 - A. Ideal
 - B. Real
 - C. Ionlashgan
 - D. Suyuq
7. Molekulalari o'zaro to'qnashmaydigan gazlar ... gaz deyiladi.
 - A. Ideal
 - B. Real
 - C. Ionlashgan
 - D. Suyuq
8. Ideal gazlarning ... energiyasi nolga teng.

A Potensial

B. Kinetik

C. Ichki

D. To'la

9. Molekular 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. Protot

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 molekula 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 molar massasi 0,032 kg/mol ga teng. Kislorod molekulasi 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 molekulasini 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 m³ dan bo'lgan vodorod va uglerod oksidlaridagi molekullar sonining teng bo'lishini isbotlang.
 A. $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$ bunda $V_0 = 22,1$ m³ – istalgan 1 kmol gazning hajmi $V = 1$ m³
 B. $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$ bunda $V_0 = 92,1$ m³ – istalgan 1 kmol gazning hajmi $V = 2$ m³
 C. $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$ bunda $V_0 = 8,1$ m³ – istalgan 1 kmol gazning hajmi $V = 3$ m³
 D. $N_1 \frac{V_{Na}}{V_0}$ bunda $V_0 = 17,6$ m³ – istalgan 1 kmol gazning hajmi $V = 6$ m³

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 sm^3 bo'lgan stakanda nechta suv molekulasi bo'ladi? Suv molar 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. $4,7 \cdot 10^{24}$

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. Molekular kintik nazariyasining asosiy tenglamasini toping.

A. $P = 2/3 nE$

B. $P = 1/3 nE$

C. $P = 2nE$

D. $P = mv/3$

30. Moddadagi barcha molekulalar 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. $k = 11,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

D. $k = 138 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

34. Mendeleyev-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 molekulalarining 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. Silindrdagi porshen ostidagi 10 litr gazning harorati 323 dan 273 °K gacha izobarik sovitiladi. 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 °C haroratda velosiped shinasidagi havoning bosimi 150000 Pa 42 °C haroratda bu bosim qanday bo'ladi?

- A. 170000
- B. 180000
- C. 160000
- D. 190000

39. Elektr lampochka yonganda undagi gazning harorati 15 dan 300 °C 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 °C gacha ortgan. Ballonning 20 °C gacha sovigandan keyingi gazning bosimini toping.

- A. $1,5 \times 10^7$
- B. 5×10^8
- C. $2,5 \times 10^9$

D. $3,5 \times 10^7$

41. 100000 Pa bosim ostidagi va harorati 100°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°C

B. -34°C

C. -25°C

D. -35°C

42. Havo 0°C harorat va 100000 Pa bosim ostida 1 litr hajmni egallaydi. Qanday haroratda 200000 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 mm.sim.ust. ga teng bo'lgandagi hajm 8,0l ga teng. Bosim 735 mm.sim.ust. ga teng bo'lgandagi hajmni toping.

A. 8,64 l

B. 7,74 l

C. 8,54 l

D. 7,89 l

46. Gazning hajmi 8 l dan 5 l gacha asta-sekin siqiladi. Bunda uning bosimi dastlabki bosimiga nisbatan $2,5 \cdot 10^5$ Pa ga ortdi. Gazning dastlabki bosimi qanday bo'lgan?

A. $4,6 \cdot 10^5$ Pa

B. $6,6 \cdot 10^5$ Pa

C. $5,6 \cdot 10^5$ Pa

D. $26 \cdot 10^5$ 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°C dagi vodorod zichligi normal sharoitdagi neonning zichligiga; 2) 0°C 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. $6,57 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

B. $4,57 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

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 sovitiladi. Sovitilgan 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°C dan 200°C 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°C bo'lgan havoning hajmi 16 l ga teng bo'lib, uning haroratini 25°C ga orttirsak, havoning hajmi qancha bo'ladi?
- $\approx 17,6$ l
 - $\approx 4,22$ l
 - $\approx 4,72$ l
 - $\approx 4,42$ l
59. Sig'imi 250 sm^3 bo'lgan ochiq shisha kolbani 127°C gacha qizdirib, so'ngra uning bo'g'zi og'zi bilan birga suvga bitirildi. Agar kolba 7°S gacha sovigan bo'lsa, kolbaga necha gramm suv kiradi? Atmosfera bosimi normal. Kolbaning sig'imini o'zgarmaydi, deb hisoblang.
- 75 g
 - 56 g
 - 98 g
 - 78 g
60. Ochiq kolbadagi 20°C haroratli havoning zichligini 2 marta kamaytirish uchun havoni qanday haroratgacha isitish kerak?
- 313°S
 - 513°S
 - 413°S
 - 213°S
61. Tashqaridan metropoliten tunneliga ventilyatsion kamera orqali kiradigan havo -20°C dan $+30^{\circ}\text{C}$ gacha isitiladi. Bunda havo hajmi necha marta o'zgaradi?
- 1,2 marta
 - 1,3 marta
 - 1,5 marta
 - 2,5 marta
62. Hajmi 1000 m^3 bo'lgan havo shari $293\text{ }^{\circ}\text{K}$ haroratli vodorod bilan to'ldirilgan. Agar bosimni o'zgartirmagan holda harorat $313\text{ }^{\circ}\text{K}$ gacha o'ttirilsa shardan qancha vodorod chiqib ketadi?
- 70 m^3
 - 80 m^3
 - 60 m^3
 - 89 m^3
63. Avtomobil garajdan chiqib ketishi oldida uning g'ildiraklarining shinalariga qishda yozdagiga nisbatan ko'proq bosimda havo bosimi 24°C haroratda $3 \cdot 10^5\text{ Pa}$ ga teng. 42°C haroratda undagi bosim qanday bo'ladi?

64. Velosiped shinalaridagi havo bosimi 24°C haroratda $3 \cdot 10^5$ Pa ga teng. 42°C haroratda undagi bosim qanday bo'ladi?

- A. $3,52 \cdot 10^5$ Pa
- B. $4,52 \cdot 10^5$ Pa
- C. $5,52 \cdot 10^5$ Pa
- D. $6,52 \cdot 10^5$ Pa

65. Agar elektr lampochka yongandan keyin uning ballonidagi gazning harorati 20°C dan 313°C 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°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 cm^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 harorat 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°C 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 sm^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 acrostatdagi gazning hajmi normal sharoitda 4200 m^3 edi. Atmosfera bosimi 400 mm.sim.ust. harorati 256°K bo'lgan balandlikdagi acrostatning hajmini aniqlang.

- A. 8000 m^3
- B. 2000 m^3
- C. 5000 m^3
- D. 6000 m^3

75. Neftli qatlamga $6,4\text{ MPa}$ bosim 20°C haroratli havo haydaldi. Agar quduqning chuqurligi 600 m va harorati 40°C 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 m³
- B. 6,4 m³
- C. 3,4 m³
- D. 8,4 m³

77. 482 K haroratda va $9 \cdot 10^5$ Pa bosim ostida 18 l karbonat angidrid gazi bor. Gazning massasini toping.

- A. 0,2 kg
- B. 0,3 kg
- C. 0,4 kg
- D. 0,5 kg

78. Sig'imi 1000 sm³ bo'lgan idishda 290 °K haroratli 1,78 g vodorod bor. Gazning bosimini toping.

- A. 2,4 MPa
- B. 3,4 MPa
- C. 4,5 MPa
- D. 6,7 MPa

79. 77°C haroratda 1 l havo qancha massaga ega bo'ladi? bosimini normal deb hisoblang.

- A. 1 g
- B. 2 g
- C. 3 g
- D. 5 g

80. Massasi 120 kg bo'lgan vodorod 1400 m³ havo sharining hajmini to'ldirib turibdi 7°C haroratda vodorod bosimini aniqlang.

- A. $9,6 \cdot 10^4$ Pa
- B. $5,6 \cdot 10^4$ Pa
- C. $8,6 \cdot 10^4$ Pa
- D. $4,6 \cdot 10^4$ Pa

81. Harorati 270 °K bo'lgan ballonda 2 kg gaz bor. Gazni 300 °K gacha isitilganda bosim avvalgidek qolishi uchun ballondan qancha miqdor gaz (massa bo'yicha) chiqarib yuborish kerak?

- A. 0,2 kg
- B. 0,3 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°K . Gaz massasining yarmi idishdan chiqarib yuborilib, harorati 323°K gacha pasaytirilgandan keyingi gaz bosimini aniqlang.

A. $8,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

B. $7,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

C. $6,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

D. $5,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

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 $8,31 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bosim ostidagi geliyning zichligi qanday?

A. 1 kg/m^3

B. 2 kg/m^3

C. 3 kg/m^3

D. 4 kg/m^3

85. Havoning 373°K haroratdagi zichligi $3,8 \text{ kg/m}^3$, uning shu haroratdagi basimi qancha bo'ladi?

A. $4,03 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

B. $5,03 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

C. $603 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

D. $203 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

86. Havoning zichligi normal holatdagi zichligiga teng bo'lishi uchun uni $1,37 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ 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 $2,13 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bosimda saqlanadi. Agar kislorodning molar 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°C harorat va normal atmosfera bosimi sharoitidagi zichligi $2,5 \text{ kg/m}^3$. Bu moddaning molar massasini toping.

A. $0,06 \text{ kg/mol}$

B. $0,04 \text{ kg/mol}$

C. $0,07 \text{ kg/mol}$

D. $0,02 \text{ kg/mol}$

89. Gaz $1,6 \text{ l}$ hajmdan $2,5 \text{ l}$ hajmgacha kengayganda 180 J ish bajaradi. Gaz qanday bosimda shu ishni bajargan?

A. $2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

B. $3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

C. $6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

D. $4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

90. Silindrdagi gazning o'rtach bosimi $0,6 \text{ MPa}$. Porshenning yuzi 300 cm^2 , yurish yo'li 50 sm . Porshenning bir yurishdagi gaz bajaragan ishni aniqlang.

A. 900 J

B. 800 J

C. 567 J

D. 675 J

91. Gaz silindr porsheni tagida 10°C harorat va $0,2 \text{ MPa}$ bosim turibdi. Agar gazning harorati 30°C ko'rarilsa, bir litr izobarik kengayganda qanday ish bajaradi?

A. 208 J

B. 789 J

C. 678 J

D. 478 J

92. $P = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ 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 $8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bosim ostida $4 \text{ litrdan } 12 \text{ litrgacha}$ izotermik ravishda kengayadi. Havoning kengayishida bajaragan ishini aniqlang.

A. $6,4 \text{ kJ}$

B. $7,6 \text{ kJ}$

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'imdan foydalaning suvda tezroq havoda kamroq.

B. solishtirma issiqlik sig'imdan foydalaning suvda havoda kamroq.

C. solishtirma issiqlik sig'imdan foydalaning suvda kamroq havoda tezroq

D. solishtirma issiqlik sig'imdan foydalanmaymiz

98. 200 g qo'rg'oshinni 20 °C da 70 °C gacha qizdirish uchun qancha ishqlik miqdori kerak? Qo'rg'oshinning solishtirma issiqlik sig'imi 130 J/kg°S ga teng.

A. 1300 J

B. 1420 J

C. 1700 J

D. 1200 J

99. Agar ko'p qavatli uyning isitish sistemasiga bir sutka davomida 90°S haroratli 800 m^3 suv kelib tushsa va undan chiqib ketayotganda uning harorati 50°C ga teng bo'lsa uyni isitishga sarflanadigan issiqlik miqdorini aniqlang.

- A. $134,4\text{ GJ}$
- B. $144,4\text{ GJ}$
- C. $154,4\text{ GJ}$
- D. $124,4\text{ GJ}$

100. Agar 2 kg po'latni 2800°C qizdirish uchun $1,6\text{ kg}$ shartli yonilg'i sarflansa temirchilik uchog'ining issiqlikka bardosh berish qobiliyati nimaga teng bo'ladi.

- A. $5,3\%$
- B. $5,6\%$
- C. $4,5\%$
- D. $7,6\%$

101. Qozondagi 1500 l suvni isitish uchun 40 kg toshko'mir yoqildi. Agar suvning boshlang'ich harorati 20°C 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°S li haroratli $0,40\text{ kg}$ suv 70°C li haroratli $0,1\text{ kg}$ suv bilan aralashtirildi. Issiqlik muvozanatida aralashmaning harorati qanday bo'ladi?

- A. 30°C
- B. 50°C
- C. 80°C
- D. 60°C

103. Avtomobilning radiatorga 20°C haroratli 2 kg suv qo'yildi, so'ngra unga yana 65°C haroratli 4 kg suv qo'shildi. Aralashmaning issiqlik muvozanatidagi haroratini aniqlang.

- A. 50°C
- B. 60°C
- C. 70°C
- D. 55°C

104. Vannaga 20°C haroratli 80 kg suv qo'yilgan. Unga yana 100°C haroratli suv qo'shildi. Hosil bo'lgan aralashmaning harorati 35°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. Jecz kalorometrga 17°C haroratli 400 g suv qo'yildi va unga 85°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°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°C isitish uchun 4200 J issiqlik miqdori kerak

B. 1 kg suvni 1°C isitish uchun 5200 J issiqlik miqdori kerak

C. 1 kg suvni 1°C isitish uchun 6200 J issiqlik miqdori kerak

D. 1 kg suvni 1°C 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
indirdan 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 bukiib 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 maHzulotiga sarf bo'ladi.

B. yonish maHzulotiga sarf bo'lmaydi

C. yonish maHzuloti 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. KompRESSOMING 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 adiabatik jarayon deb hisoblash mumkin

A. to'rtala taktdan adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 3- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

B. to'rtala taktdan adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 4- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

C. to'rtala taktdan adiabatik jarayon deb hisoblanadi 2- va 1- taktlarda silindr tashqi muhitdan izolyatsiyalangan bo'ladi.

D. to'rtala taktdan 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 voleypol to'pi kamerasidan chiqayotgan havo jarayonga qo'yilgan termometning simob sathi pasayadi bu hodisani tekshirib ko'ring va tushuntirib bering

A. Havo kamaradan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi pasayadi shamol termometning ko'rsatishiga ta'sir qilmaydi.

B. Havo kamaradan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi pasayadi shamol termometning ko'rsatishiga ta'sir qiladi.

C. Havo kamaradan chiqayotgan adiabatik kengayadi va soviydi shuning uchun termometrdagi simob sathi ko'tariladi shamol termometning ko'rsatishiga ta'sir qilamidi.

D. Havo kamaradan chiqayotgan adiabatik kamayadi va soviydi shuning uchun termometrda simob sathi pasayadi shamol termometrning ko'rsatishiga ta'sir qilamayi.

118. 8-rasmda grafik tasvirlangan. Bu grafikdagi egri chiziqlarda qanday jarayonlar tasvirlangan?

- A. izoterma va adiabat
- B. izoxora va adiabat
- C. izabara 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°C dan 100°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 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 sekunda isitkichdan $7,2 \cdot 10^6 \text{ J}$ issiqlik miqdori oladi va sovitkichga J issiqlik miqdori beradi. Dvigatelning F.I.K. qanday?

- A. $\approx 11\%$
- B. $\approx 21\%$
- C. $\approx 31\%$
- D. $\approx 41\%$

122. Agar bug' trubinaga kelib tushayotganda harorati 480°C bo'lsa undan 30°C harorat bilan chiqib ketsa ideal bug' trubinaning F.I.K. qanday?

- A. $\approx 60\%$
- B. $\approx 70\%$
- C. $\approx 51\%$
- D. $\approx 81\%$

123. Bug' mashina slindriga bug' har sekundda 180 MJ issiqlik olib kiradi. Ishlatilgan bug' shu vaqtni o'zida 160 MJ issiqlikni silindrdan olib chiqib ketadi. Bug' mashinasining FIK ini toping.

- A. 30 MJ
- B. 40 MJ
- C. 50 MJ
- D. 23 MJ

124. Ideal issiqlik dvigatelida isitkichning absolut harorati sovitchning haroratidan uch marta katta. Isitkich gazga 40 kJ issiqlik idori uzatadi. Gaz qanday ish bajardi?

- A. 26,4 kJ
- B. 45,9 kJ
- C. 27,4 kJ
- D. 23,7 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 sm^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 W 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 kW. 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 molekulasi idish devoriga perpendikulyar yo'nalishda 500 m/s tezlik bilan uchib bormoqda, u shu devorga uriladi va tezligini 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 molekulasi idish devoriga elastik uriladi. Tezlikning yo'nalishi idish devoriga o'tkazilgan normal bilan 60° 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. $\approx 9 \cdot 10^{-23}$ N·s

135. Normal sharoitda kislorod molekulasi xaotik harakatining o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s, molekulasining massasi $6,0 \cdot 10^{-25}$ kg. Molekula ilgari lanima harakatining o'rtacha kinetik energiyasini qanday?

A. $7,5 \cdot 10^{-21}$ J

B. $6,5 \cdot 10^{-21}$ J

C. $9,5 \cdot 10^{-21}$ J

D. $2,5 \cdot 10^{-21}$ J

136. Agar kislorod molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 460 m/s va 2 sm^3 dagi molekulalar soni $3 \cdot 10^{19}$ bo'lsa, kislorod idish devorlariga qanday bosim ko'rsatadi?

A. $\approx 1 \cdot 10^5$ Pa

B. $\approx 1 \cdot 10^4$ Pa

C. $\approx 1 \cdot 10^9$ Pa

D. $\approx 1 \cdot 10^7$ Pa

137. Vodorod va kislorod molekulalarining o'rtacha kvadratik tezliklari mos ravishda 1840 m/s va 460 m/s, bu molekulalarning 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 molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/s bo'lsa, 1 m³ hajmdagi vodorod molekulalarini 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 molekulalaridan tashkil topgan berilgan haroratda bu gaz molekulalarining ilgarilanma harakat o'rtacha kintik energiyasi birday bo'ladimi?

A. ha

B. yo'q

C. molekulalarning haroratiga bog'liq

D. qaysi gaz ckanligiga bog'liq

140. Atmosferada bir necha yuz kilometr balandliklarda havoning harorati 1000°S atrofida bo'ladi. Nima uchun u yerda raketalar yonib ketmaydi?

A. ayrim havo molekulalarining kintik energiyasi 1000°C dan ortiq haroratga mos keladi, biroq molekulalar konsentratsiyasi kichik

B. ayrim havo molekulalarining kintik energiyasi 1000°C dan ortiq haroratga mos keladi, biroq molekulalar konsentratsiyasi katta

C. ayrim havo molekulalarining kintik energiyasi 1000°C dan ortiq haroratga mos kelmaydi, biroq molekulalar konsentratsiyasi kichik

D. ayrim havo molekulalarining kintik energiyasi 1000°C dan ortiq haroratga mos kelmaydi, biroq molekulalar konsentratsiyasi katta

141. Agar gaz molekulalarining ilgarilanma harakat o'rtacha kintik 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 molekulalarining 800 °K haroratidagi ilgarilanma harakat o'rtacha kintik 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 °C haroratidagi ilgarilanma 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 W
- 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 santimetrda $1,0 \cdot 10^{18}$ ta molekula bo'lsa va harorati 87°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°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. $\approx 3 \cdot 10^{25}$ m⁻³
- B. $\approx 7 \cdot 10^{25}$ m⁻³
- C. $\approx 2 \cdot 10^{25}$ m⁻³
- D. $\approx 11 \cdot 10^{25}$ m⁻³

147. Normal sharoitda gazning 9 m³ hajmida qancha molekula bo'lishi aniqlang.

- A. $\approx 2,7 \cdot 10^{25}$ m⁻³
- B. $\approx 1,1 \cdot 10^{25}$ 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°C 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. $\text{N}\cdot\text{s}$

C. 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. $\approx 680 \text{ m/s}$; 350°K

D. $\approx 780 \text{ m/s}$; 220°K

151. Geliy molekularining $0,40^\circ\text{K}$ haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi qanday? Quyosh atmosferasida geliy atomlarining 6000°K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi nimaga teng?

A. 50 m/s ; $8,7 \text{ km/s}$

B. 60 m/s ; $5,7 \text{ km/s}$

C. 70 m/s ; $3,7 \text{ km/s}$

D. 30 m/s ; $6,7 \text{ km/s}$

152. Karbonat angidrid gazi molekulasining 273°K haroratidagi o'rtacha kvadratik tezligi 360 m/s ga teng. Uning 400°K haroratidagi tezligi qanday?

A. $\approx 480 \text{ m/s}$

B. $\approx 470 \text{ m/s}$

C. $\approx 460 \text{ m/s}$

D. $\approx 450 \text{ m/s}$

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°C 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°C 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 molekulalarni 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 atrofda 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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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°C da qaynaydi
 - B. yo'q, 12% osh tuzi eritilgan suv 92°C da qaynaydi
 - C. yo'q, 12% osh tuzi eritilgan suv 80°C da qaynaydi
 - D. to'g'ri javob keltirilmagan
167. Elektr choynakdagi suv 6 minutda $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan qaynash haroratigacha isiydi. Shundan keyin hamma suv necha minutda qaynab tugaydi?
- A. $\approx 33\text{ min}$
 - B. $\approx 53\text{ min}$
 - C. $\approx 23\text{ min}$
 - D. $\approx 11\text{ min}$
168. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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°S haroratli 2 kg suvni isitish uchun 1,05 MJ issiqlik miqdori sarflanadi. Bunda qancha miqdor suv bug'ga aylanadi?
- A. $\approx 0,13\text{ kg}$
 - B. $\approx 1,13\text{ kg}$
 - C. $\approx 0,23\text{ kg}$
 - D. $\approx 0,53\text{ kg}$

170. 100°S haroratdagi $0,02\text{ kg}$ suv suv bug'ining kondensatsiyalanishida va hosil bo'lgan suvning 20°C gacha sovishida qancha issiqlik miqdori ajraladi?

- A. $\approx 5\text{ kJ}$
- B. $\approx 6\text{ kJ}$
- C. $\approx 7\text{ kJ}$
- D. $\approx 8\text{ kJ}$

171. 80 kg suvni 5 dan 35°C gacha isitish uchun 100°C li suv bug'idan qancha miqdor talab qilinadi?

- A. $\approx 3,5\text{ kg}$
- B. $\approx 4,5\text{ kg}$
- C. $\approx 5,5\text{ kg}$
- D. $\approx 6,5\text{ kg}$

172. 20°S haroratdagi $0,5\text{ kg}$ suvga 100°C haroratli suv bug'i kiritildi va bu bug' keyin suvga aylandi. Suvning bug' kiritilgandan keyingi muvozanat haroratini aniqlang.

- A. $\approx 100^{\circ}\text{C}$
- B. $\approx 150^{\circ}\text{C}$
- C. $\approx 200^{\circ}\text{C}$
- D. $\approx 300^{\circ}\text{C}$

173. Massasi $0,3\text{ kg}$ bo'lgan alyuminiy idishda 10°C haroratdagi 2 kg suvni qaynatish uchun qancha issiqlik miqdori sarf qilish kerak?

- A. $7,8 \cdot 10^5\text{ J}$
- B. $8,8 \cdot 10^5\text{ J}$
- C. $9,8 \cdot 10^5\text{ J}$
- D. $6,8 \cdot 10^5\text{ J}$

174. Harorati 17°C bo'lgan yomg'ir tomchilari yerga urilgandan bug'lanib ketishi uchun ular qanday balandlikdan tushishi lozim? Havoning qarshiligini 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°C dan yuqori. Nima uchun?

A. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolut bosimi $1,8 \cdot 10^5\text{ Pa}$, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta yuqori bosimni ko'rsatgan

B. manometr ortiqcha bosimni ko'rsatgan, qozondagi bug'ning absolut 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 absolut 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 absolut bosimi $1,8 \cdot 10^5$ Pa, ya'ni atmosfera bosimidan o'ta past bosimni ko'rsatgan

176. Shpritslarni qaynatadigan idishda boshlang'ich harorati 10°C 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 absolut namligi 10 g/m^3 , uying harorati 18°C bo'lganda, uydagi havoning nisbiy namligi qancha bo'ladi?

A. $\approx 63\%$

B. $\approx 73\%$

C. $\approx 83\%$

D. $\approx 93\%$

178. Havoning absolut namligi $10,7 \text{ g/m}^3$, harorati 24°C bo'lganda, havoning nisbiy namligi qancha bo'ladi?

A. 50%

B. 60%

C. 70%

D. 80%

179. Quruq termometr 20°C , ho'llangani esa $15,5^\circ\text{C}$ 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°C , shudring nuqtasi 8°C . Havoning absolut va nisbiy namligi qanday?

A. $\approx 48\%$

B. $\approx 58\%$

C. $\approx 67\%$

D. $\approx 92\%$

183. Havoning harorati 28°C 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°C haroratda havoning nisbiy namligi 100% ga teng. Namlik 50% gacha kamayishi uchun yerto'ladagi havoning haroratini necha gradusga ko'tarish lozim?

A. 21°C

B. 31°C

C. 41°C

D. 51°C

185. Dengizda havo harorati 20°C bo'lganda nisbiy namlik 85% ga teng. Havoning harorati qanday bo'lganda tuman tushishi mumkin?

A. $\approx 23^{\circ}\text{C}$

B. $\approx 33^{\circ}\text{C}$

C. $\approx 43^{\circ}\text{C}$

D. $\approx 53^{\circ}\text{C}$

186. Kechqurun havoning harorati 25°C bo'lsa, nisbiy namlik 60% ni tashkil etadi. Agar tunda tuproqning harorati 13°C gacha pasaysa shudring tushadimi 17°C gacha pasaysachi?

- A. ha, yo'q
- B. yo'q, ha
- C. ha, ha
- D. yo'q, yo'q

187. Kechqurun havoning harorati 5°C bo'lsa, nisbiy namlik 65% ni tashkil etsa, agar tushda harorat 4°C gacha pasaysa qirov tushadimi? 5°C 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°C harorat va 95% nisbiy namlik saqlanishi lozim, agar psixrometrmning nam termometri 30°C ni, quruq termometri 31°C 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. molekullarning xotik harakati uchun
- C. diffuziya ta'sirida
- D. to'g'ri javob berilmagan

191. Tomizgichdan oqib o'tayotgan suv tomchisi nima uchun asta-skin 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 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 critma qo'yilsa, cho'p qaysi tomonga harakat qiladi? Nima uchun?

A. sirt taranglik kuchi ta'sirida sovun critmasi quyilmagan tomonga harakat qiladi.

B. sirt taranglik kuchi ta'sirida sovun critmasi quyilgan tomonga harakat qiladi.

C. sirt taranglik kuchi ta'sirisiz sovun critmasi quyilmagan tomonga harakat qiladi.

D. sirt taranglik kuchi ta'sirisiz sovun critmasi 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 olmag.

- A. $\approx 1,23 \text{ mJ}$
 - B. $\approx 1,23 \text{ kJ}$
 - C. $\approx 1,23 \text{ GJ}$
 - D. $\approx 1,23 \text{ mkJ}$
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. $73 \cdot 10^{-8} \text{ N/m}$
 - B. $83 \cdot 10^{-8} \text{ N/m}$
 - C. $93 \cdot 10^{-8} \text{ N/m}$
 - D. $53 \cdot 10^{-8} \text{ N/m}$
202. Kapillyar nayda kerosin 55 mm balandlikka, suv 142 mm balandlikka ko'tariladi. Kerosinning zichligini toping.
- A. 800 kg/m^3
 - B. 810 kg/m^3
 - C. 820 kg/m^3
 - D. 840 kg/m^3
203. Radiusi 0,2 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 diametri 0,4 mm bo'lgan silindrsimon naycha glitserin solingan idishga tushirilgan. Naycha ichidagi 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 jihatidan qandlar orasida qanday farq bor?

A. shakar monokristall, qand polikristall

B. shakar polikristall, qand monokristall

C. shakar ham, qand ham polikristall

D. shakar ham, qand ham monokristall

207. Nima uchun uglerod tabiiy holatda ko'pincha olmos shaklida emas, balki grafit shaklida uchraydi?

A. olmosning paydo bo'lishi uchun $1 \cdot 10^{10}$ Pa bosim va 2000°C 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 $1 \cdot 10^{10}$ Pa bosim va 2000°C 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 $1 \cdot 10^{10}$ Pa bosim va 2000°C 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°C 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'tida toblanib ishlatilov berilgandan so'ng tovuq 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. molekulalarning 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 $1,95 \text{ kN}$ kuch ta'sirida unda $1,5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ 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 mm^2 bo'lgan sigma 40 N yuk osilgan. Simning cho'zilish koeffitsiyentini va elastiklik modulini toping.

A. 20000 N/mm^2 , 32 mm

B. 10000 N/mm^2 , 86 mm

C. 30000 N/mm^2 , 23 mm

D. 50000 N/mm^2 , 45 mm

214. Uzunligi 8,4 m bo'lgan sim o'ta yuklanish ta'sirida 3,7 mm cho'zildi. Simning absolut 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 absolut 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 absolut 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 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. $1,5 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
- D. $1,4 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$

219. Uzunligi 1 m va ko'ndalang kesimining yuzi 10 mm^2 bo'lgan mis sterjenga 100 kg massali yuk osilgan. Sterjenning absolut uzayishi aniqlansin. Mis uchun Yung modulu $1,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

- 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/m².

- A. ≈ 51 kN
- B. ≈ 41 kN
- C. ≈ 61 kN
- D. ≈ 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. Teplovozda tirkama moslamasining ko'ndalang kesimi 100 sm^2 , mustahkamlik chegarasi $5 \cdot 10^8$ N/m² bo'lsa, uning mustahkamlik zahirasi qanday?

- A. ≈ 67

B. ≈ 47

C. ≈ 57

D. ≈ 77

225. Ko'ndalang kesimining yuzi 10 mm^2 dan katta bo'lmagan simga 600 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. ≈ 50

B. ≈ 60

C. ≈ 70

D. ≈ 80

227. Absolut 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 ... issiqlik 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 molar ... ni ifodalaydi.
A. hajm
B. massa
C. konsentratsiya
D. harorat
232. $M = m_0 N_A$ matematik ifoda ... massani ifodalaydi.
A. molar
B. atom
C. ion
D. tinchlikdagi
233. Suyuqlikka solingan qattiq jism zarralarining suyuqlik molekullari 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. parsial
B. atmosfera
C. umumiy

- D. tog'ri javob yo'q
238. Bir xil sharoitda quyida keltirilgan qaysi element molekulasi o'rta kvadratik tezligi eng katta?
- A. vodorod
 - B. kislorod
 - C. geliy
 - D. uglerod
239. Bir xil haroratda suv, suv bug'i va muz molekularining o'rta 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 neccha turga bo'linadi?
 A. 3 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, konvektsiya, nurlanish)
 B. 2 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, konvektsiya)
 C. 1 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik)
 D. faqat 2 turga (issiqlik o'tkazuvchanlik, nurlanish)
245. 1 gramm suvni 1°C ($^{\circ}\text{K}$) 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 absolut va nisbiy namlik qanday o'zgaradi?

A. absolut namlik o'zgarmaydi, nisbiy namlik kamayadi

B. absolut namlik o'zgarmaydi, nisbiy namlik ortadi

C. absolut namlik kamayadi, nisbiy namlik kamayadi

D. absolut 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. absolut

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, Boyl-Mariott

C. Mendeleyev-Klapeyron, Sharl, Gey-Lyussak

D. Mendeleyev-Klapeyron, Boyl-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. konvektsiya

D. kristalizatsiya

258. Moddaning gaz holatdan suyuq holatga o'tishi yoki bug'lanishga teskari bo'lgan jarayon ... deyiladi.

A. kondensatsiya

B. sublimatsiya

C. konvektsiya

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

261. Issiqlik almashinuvi deb nimaga aytiladi?

A. mexanik ish bajarmasdan ichki energiyaning uzatilish jarayoniga aytiladi

B. mexanik ish bajarib ichki energiyaning uzatilish jarayoniga aytiladi

C. mexanik ish bajarmasdan kinetik energiyaning uzatilish jarayoniga aytiladi

D. mexanik ish bajarib kinetik energiyaning uzatilish jarayoniga aytiladi

262. Quyidagi formulalardan qaysisi gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ishni ifodalaydi?

A. hammasi

B. $F \cdot \Delta l$

C. $p \cdot S \cdot \Delta l$

D. $p \cdot \Delta V$

263. Issiqlik miqdorining 1 kaloriya birligi deb nimaga aytiladi?

A. 1g toza suvning haroratini $19,5^\circ\text{C}$ dan $20,5^\circ\text{C}$ ga ko'tarish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

B. 1g toza suvning haroratini $20,5^\circ\text{C}$ dan $21,5^\circ\text{C}$ ga ko'tarish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

C. 1kg toza suvning haroratini $19,5^\circ\text{C}$ dan $20,5^\circ\text{C}$ ga ko'tarish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

D. 1kg toza suvning haroratini $20,5^\circ\text{C}$ dan $21,5^\circ\text{C}$ ga ko'tarish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

264. Issiqlik balansi tenglamasi uchun berilgan quyidagi qaysi ta'rif to'g'ri?

A. jism bergan issiqlik miqdori Q_j , suv olgan issiqlik Q_s va kalorimetr olgan issiqlik miqdori Q_k larning yig'indisiga teng

B. jism bergan issiqlik miqdori Q_j , suv olgan issiqlik Q_s ka teng

C. jism bergan issiqlik miqdori Q_j , kalorimetr olgan issiqlik miqdori Q_k ga teng

D. jism bergan issiqlik miqdori Q_j , suv olgan issiqlik Q_s va kalorimetr olgan issiqlik miqdori Q_k larning ayirmasiga teng

265. Quyidagi qaysi olimlar "Termodinamikaning 2-qonuni"ga to'g'ri ta'rif berishgan?

A. Tomson, Plank, Karno, Kelvin, Klauzius

B. Tomson, Plank, Karno, Dyulong, Klauzius

C. Tomson, Plank, Pti, Kelvin, Klauzius

D. Tomson, Klapeyron, Karno, Kelvin, Klauzius

266. Quyida keltirilgan shartlarning qaysisi bajarilganda jism gaz holatda bo'ladi?

A. agar $E_k \gg E_{pmin}$ bo'lsa;

B. agar $E_k \ll E_{pmin}$ bo'lsa;

C. agar $E_k \approx E_{pmin}$ bo'lsa;

D. agar $E_k = 0$ bo'lsa.

267. Quyida keltirilgan shartlarning qaysisi bajarilganda modda qattiq holatda bo'ladi?

A. B. agar $E_k \ll E_{pmin}$ bo'lsa;

B. agar $E_k \gg E_{pmin}$ bo'lsa;

C. agar $E_k \approx E_{pmin}$ bo'lsa;

D. agar $E_k = 0$ bo'lsa.

268. Quyida keltirilgan shartlarning qaysisi bajarilganda modda suyuq holatda bo'ladi?

A. C. agar $E_k \approx E_{pmin}$ bo'lsa;

B. agar $E_k > E_{pmin}$ bo'lsa;

C. agar $E_k < E_{pmin}$ bo'lsa;

D. agar $E_k = 0$ bo'lsa.

269. Polimer deb nimaga aytiladi?

A. molekulari tarkibida o'zaro kovalent bog'lanishlar orqali birikkan yuz, ming va o'n minglarcha atomlar bo'ladigan birikmalarga aytiladi

B. molekulari tarkibida o'zaro ion bog'lanishlar orqali birikkan yuz, ming va o'n minglarcha atomlar bo'ladigan birikmalarga aytiladi

C. molekulari tarkibida o'zaro vodorod bog'lanishlar orqali birikkan yuz, ming va o'n minglarcha atomlar bo'ladigan birikmalarga aytiladi

D. molekulari tarkibida o'zaro metall bog'lanishlar orqali birikkan yuz, ming va o'n minglarcha atomlar bo'ladigan birikmalarga aytiladi

270. Polimerlar necha xil bo'ladi?

A. 2xil, tabiiy va sintetik

B. 2xil, tabiiy va sun'iy

C. 2xil, tabiiy va kimyoviy

D. 2xil, sintetik va sun'iy

271. Polimerlar necha xil agregat holatida bo'ladi?

A. 2 xil, qattiq va suyuq

B. 2 xil, qattiq va gaz

C. 2 xil, suyuq va gaz

D. 3 xil, qattiq, suyuq va gaz

272. Suv uchun uchlanma nuqta necha Kelvinga teng?

A. 273,16

B. 0

C. 374

D. 100

273. Solishtirma crish issiqligi deb nimaga aytiladi?

A. crish haroratidagi 1 kg moddani qattiq holatdan suyuq holatga o'tkazish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

B. qotish haroratidagi 1 kg moddani qattiq holatdan suyuq holatga o'tkazish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

C. crish haroratidagi 1 g moddani qattiq holatdan suyuq holatga o'tkazish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

D. qotish haroratidagi 1 g moddani qattiq holatdan suyuq holatga o'tkazish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

274. Mo'rt jism deb nimaga aytiladi?

A. uncha katta bo'lmagan deformatsiya natijasida bo'laklanib ketadigan jismga aytiladi

B. juda katta bo'lgan deformatsiya natijasida bo'laklanib ketadigan jismga aytiladi

C. uncha katta bo'lmagan harorat ta'siri natijasida bug'lanib ketadigan jismga aytiladi

D. juda katta bo'lgan harorat ta'siri natijasida bug'lanib ketadigan jismga aytiladi

275. Qanday moddalar plastik moddalar deyiladi?

A. elastik deformatsiya sohasi mavjud bo'lmagan moddalarga aytiladi

B. elastik deformatsiya sohasi mavjud bo'lgan moddalarga aytiladi

C. plastik deformatsiya sohasi mavjud bo'lmagan moddalarga aytiladi

D. plastik deformatsiya sohasi mavjud bo'lgan moddalarga aytiladi

276. Ionli kristallarda zarralar qanday tartibda joylashgan?

A. panjarasining tugunlarida qarama-qarshi zaryadli ionlar navbat bilan joylashgan bo'ladi

B. panjarasining tugunlarida bir xil zaryadli ionlar navbat bilan joylashgan bo'ladi

C. panjarasining tugunlarida qarama-qarshi zaryadli ionlar tartibsizlik bilan joylashgan bo'ladi

D. panjarasining tugunlarida bir xil zaryadli ionlar tartibsizlik bilan joylashgan bo'ladi

277. Atomli kristall panjarasi tugunlarida qanday atomlar joylashgan bo'ladi?

A. kvant-mexanik tabiatdagi kuchlar tutib turuvchi neytral atomlar

B. kvant-mexanik tabiatdagi kuchlar tutib turuvchi musbat zaryadli atomlar

C. kvant-mexanik tabiatdagi kuchlar tutib turuvchi manfiy zaryadli atomlar

D. elektrostatik tabiatdagi kuchlar tutib turuvchi neytral atomlar

278. Polimorfizm deb nimaga aytiladi?

A. tarkibi bir xil moddaning turli fizik xossalarga ega bo'lgan har xil kristall tuzilishni hosil qilinishiga aytiladi

B. tarkibi bir xil moddaning turli fizik xossalarga ega bo'lgan har xil amorf tuzilishni hosil qilinishiga aytiladi

C. tarkibi har xil moddaning turli fizik xossalarga ega bo'lgan har xil kristall tuzilishni hosil qilinishiga aytiladi

D. tarkibi har xil moddaning turli fizik xossalarga ega bo'lgan har xil amorf tuzilishni hosil qilinishiga aytiladi

274. Adsorbsiya deb nimaga aytiladi?

A. bug', gaz hamda bug'-gaz aralashmalaridagi bir va bir necha komponentlarning suyuqlikda yutilish jarayoniga aytiladi

B. bug', gaz hamda bug'-gaz aralashmalaridagi bir va bir necha komponentlarning gazlarda yutilish jarayoniga aytiladi

C. bug', gaz hamda bug'-gaz aralashmalaridagi bir va bir necha komponentlarning qattiq jismlarda yutilish jarayoniga aytiladi

D. bug', gaz hamda bug'-gaz aralashmalaridagi bir va bir necha komponentlarning suyuqlik va qattiq jismlarda yutilish jarayoniga aytiladi

280. Adsorbsiya deb nimaga aytiladi?

A. gaz aralashmalari hamda critmalardagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon qattiq jismlar yuzasi bo'ylab yutilish jarayoniga aytiladi

B. gaz aralashmalari hamda critmalardagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon qattiq jismlar hajmi bo'ylab yutilish jarayoniga aytiladi

C. gaz aralashmalari hamda critmalardagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon suyuq jismlar yuzasi bo'ylab yutilish jarayoniga aytiladi

D. gaz aralashmalari hamda critmalardagi bir va bir necha komponentlarning g'ovaksimon suyuq jismlar hajmi bo'ylab yutilish jarayoniga aytiladi

Fizika sohasi bo'yicha NOBEL mukofoti sovrindorlari

<i>T/r</i>	<i>Nechanch i yil olgan</i>	<i>Sovrindorning F.I.Sh.</i>	<i>T/r</i>	<i>Nechanch i yil olgan</i>	<i>Sovrindorning F.I.Sh.</i>
1	1901	Vilgelm Kondrat Rentgen	3	1959	Emilio Djino Segre, Ouen Chemberlen
2	1902	Xendrik Anton Lorens, Piter Zeeman	4	1960	Donald Artur Glazer
3	1903	Antuan Anri Bekkerel, Per Kyuri, Mariya Kyuri	5	1961	Robert Xofshtedter, Rudolf Lyudvig Myossbauer
4	1904	Djon Uilyam Reley	6	1962	Lev Davidovich Landau
5	1905	Filipp Eduard Anton fon Lenard	7	1963	Yudjin Pol Vigner, Mariya Gyoppert- Mayer, Xans Yensen
6	1906	Djozef Djon Tomson	8	1964	Nikolay Gennadiyevich Basov, Aleksandr Mixaylovich Proxorov, Charlz Xard Tauns
7	1907	Albert Abraxam Maykelson	9	1965	Sinitiro Tomonaga, Djulius Shvinger, Richard Filipps Feynman
8	1908	Gabriell Lippman	0	1966	Alfred Kastler
9	1909	Gulielmo Markoni, Karl Ferdinand Braun	1	1967	Xans Albrext Bete
10	1910	Yan Diderik Van- Der-Vaals	2	1968	Luis Uolter Alvares
11	1911	Vilgelm Vin		1969	Marri Gell-Mann

12	1912	Nils Gustav Dalen	3	1970	Xannes Alfven, Lui Ejen Felik Neel
			4		
13	1913	Xeyke Kamerling- Onnes	5	1971	Dennis Gabor
14	1914	Maks fon Lauie	6	1972	Djon Bardin, Leon Nil Kuper, Djon Robert Shriffer
15	1915	Uilyam Genri Bregg, Uilyam Lorens Bregg	7	1973	Brayan Devid Djozefson, Leo Esaki, Ayvor Djayeveer
	1916	Mukofot berilmagan	8	1974	Martin Rayl, Entoni Xyuish
16	1917	Charlz Glover Barkla	9	1975	Oge Hils Bor, Ben Roy Mottelson, Leo Djeyms Reynuoter
17	1918	Maks Karl Ernst Ludvig Plank	0	1976	Berton Rixter, Semyuel Ting
18	1919	Yoxannes Shtark	1	1977	Filipp Uorren Anderson, Nevill Fransis Mott, Djon Van Flek
19	1920	Sharl Eduard Giyom	2	1978	Pyotr Leonidovich Kapitsa, Arno Allan Penzias, Robert Vudro Uilson
20	1921	Albert Eynshteyn	3	1979	Sheldon Li Gleshou, Abdus Salam, Stiven Vaynberg
21	1922	Nils Bor	4	1980	Djeyms Uotson Kronin, Val Logsden Fitch
22	1923	Robert Endryus Milliken	5	1981	Nikolas Blombergen, Artur

23	1924	Manne Sigban	6	1982	Leonard Shavlov Kennet Vilson
24	1925	Djems Frank, Gustav Lyudvig Gers	7	1983	Subramanyan Chandrasckar, Uilyam Alfred Fauler
25	1926	Jan Batist Perren	8	1984	Karlo Rubbia, Simon van der Mer
26	1927	Artur Xolli Kompton, Charlz Tomson Riz Vilson	9	1985	Klaus fon Klitsing
27	1928	Ouen Uilyams Richardson	0	1986	Ernst Ruska Gerd Binning, Genrix Rorer
28	1929	Lui de Broyl	1	1987	Georg Bednors, Karl Myuller
29	1930	Chandrasckara Venkata Raman	2	1988	Leon Lederman, Melvin Shvars, Djck Steynberger
	1931	Mukofot berilmagan	3	1989	Norman Ramzey, Xans Demelt, Volfgang Paul
30	1932	Verner Karl Geyzenberg	4	1990	Djerom Fridman, Genri Kendall, Richard Teylor
31	1933	Ervin Shryodinger, Pol Adriyen Moris Dirak	5	1991	Per Jil de Jen
	1934	Mukofot berilmagan	6	1992	Jorj Sharpak
32	1935	Djeyms Chedvik	7	1993	Rassel Xals, Djozef Teylor (kichik)
33	1936	Viktor Frans Gess, Karl Devid Anderson	8	1994	Bertram Brokxauz Klifford Shall
34	1937	Klinton Djozef		1995	Martin Perl

		Devisson, Djordj Tomson	9		Frederik Reyns
35	1938	Enriko Fermi	0	1996	Devid Li, Duglas Osherov, Robert Richardson
36	1939	Ernest Orlando Lourens	1	1997	Stiven Chu, Klod Koen-Tannudji, Uilyam Fillips
	1940	Mukofot berilmagan	2	1998	Robert Laflin, Xorst Shtermer, Deniel Sui
	1941	Mukofot berilmagan	3	1999	Gerard Xooft, Martin Veltman
	1942	Mukofot berilmagan	4	2000	Jores Ivanovich Alfyorov, Gerbert Kryomer Djek Kilbi
37	1943	Otto Shtren	5	2001	Erik Kornell, Volfgang Ketterle, Karl Viman
38	1944	Isidor Ayzek Rabi	6	2002	Raymond Devis(kichik), Masatosi Kosiba Rikkardo Djakkoni
39	1945	Volfgang Pauli	7	2003	Aleksey Alekseyevich Abrikosov, Vitaliy Lazarevich Ginzburg, Entoni Legget
40	1946	Persi Uilyams Bridjmen	8	2004	Devid Gross, Devid Politser, Frenk Vilchek
41	1947	Eduard Viktor Eplton	9	2005	Roy Glauber Djon Xoll, Teodor Xensh
42	1948	Patrik Meynard Styuart Bleket	00	2006	Djon Meter, Djordj Smut
43	1949	Xideki Yukava		2007	Alber Fer, Peter

- | | | |
|----|------|---|
| 44 | 1950 | Sesil Frenk Paull |
| 45 | 1951 | Djon Duglas
Kokroft, Ernest
Tomas Sinton
Uolton |
| 46 | 1952 | Feliks Blox,
Edvard Mills
Pyorsell |
| 47 | 1953 | Frits Sernike |
| 48 | 1954 | Maks Born, Valter |
| 49 | 1955 | Uillis YUdjin
Lemb, Polukarp
Kush |
| 50 | 1956 | Djon Bardin,
Uolter Xauzer
Bratteyn |
| 51 | 1957 | Chjennin Yang,
Szundao Li |
| 52 | 1958 | Pavel
Alckseyevich
Cherenkov, Ilya
Mixaylovich
Frank, Igor
Yevgenevich
Tamm |

ILOVALAR

Fizik doimiyliklar

Nomi	Belgilanishi	SI dagi son qiymati
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	$6,022 \cdot 10^{23}$ l/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	$1,0973 \cdot 10^{-7}$ l/m
Bor radiusi	a_0	$5,29 \cdot 10^{-11}$ m
Elektronning klassik radiusi	r_e	$2,8179 \cdot 10^{-15}$ m
Bor magnetoni	μ_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 ² ·k ⁴
Loshmidt doimiysi	n_0	$2,68676 \cdot 10^{25}$ l/m ³
Normal erkin tushishi tezlanishi	g_H	$9,8$ m/s ²
Normal atmosfera bosimi	P_{atm}	101325 Pa
Normal sharoitda bir mol ideal gaz hajmi	V_m	$22,41 \cdot 10^{-3}$ m ³
Tovushning havodagi tezligi	C	331,6 m/s

Atom va molekularning massalari

Atomlar	m_a 10^{-27} kg	Molekulalar	m_m 10^{-27} kg
Azot	23,2	Azot N ₂	46,5
Alyuminiy	44,8	Ammiak NH ₃	28,3
Vodorod	1,67	Suv H ₂ O	29,9
Geliy	6,64	Vodorod H ₂	3,3
Temir	92,8	Havo	48,1
Oltin	327	Natriy gidroksid NaOH	66,4
Kislorod	26,6	Rux karbonat ZnCO ₃	208

Kremniy	46,6	Kislorod O ₂	53,2
Mis	105	Metan CH ₄	26,6
Natriy	38,1	Kumush nitrat AgNO ₃	282
Simob	333	Ozon O ₃	80
Qo'rg'oshin	344	Alyuminiy oksid Al ₂ O ₃	169
Oltingugurt	53,2	Simob oksidi (II) HgO	360
Kumush	179	Uglerod oksidi (II) CO	46,5
Uglerod	19,9	Uglerod oksidi (IV) CO ₂	73
Uran	395	Uran oksidi UO ₂	448
Ftor	31,5	Mis sulfat CuSO ₄	265
Xlor	58,9	Qo'rg'oshin sulfat PbSO ₄	503
Rux	109	Natriy xlorid NaCl	97

Gaz molekularining diametri

Gaz	d_{μ}, nm	d_B, nm	d_T, nm	d_D, nm	$d_{T, \lambda}, nm$
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

Molekula	R_m, nm	Molekula	R_m, nm
Azot N ₂	0,109	Kislorod O ₂	0,121
Azot oksidi (IV) NO	0,115	Litiy Li ₂	0,267
Bor B ₂	0,159	Natriy Na ₂	0,308
Brom Br ₂	0,214	Simob Hg ₂	0,330
Vodorod bromid HBr	0,141	Oltingugurt S ₂	0,189
Kaliy bromid KBr	0,294	Uglerod C ₂	0,131
Vodorod H ₂	0,074	Fosfor P ₂	0,189
Litiy gidrid LiH	0,159	Ftor F ₂	0,143
Yod J	0,267	Vodorod ftorid HF	0,092
Vodorod yodid HJ	0,160	Xlor Cl ₂	0,199
Kaliy K ₂	0,392	Kaliy xlorid KCl	0,279

Gaz molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'li

<i>Gaz</i>	<i>T=0°S va P=0,1 Pa (7,5·10⁻⁴ 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

<i>Modda (gaz)</i>	<i>a·10⁻³, N·m⁴/kmol²</i>	<i>b·10², m³/kmol</i>
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 ⁻¹	2,63
Geliy	3,43·10 ⁻²	2,34

Yer sathidan turli balandliklarda havo molekularining 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	6,633·10 ⁻⁸	1000	7,309·10 ⁻⁸	30000	4,413·10 ⁻⁵
50	6,665·10 ⁻⁸	2000	8,072·10 ⁻⁸	40000	2,034·10 ⁻⁵
100	6,697·10 ⁻⁸	3000	8,936·10 ⁻⁸	50000	7,913·10 ⁻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 angidrid	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			

Yerdan turli balandliklarda atmosfera bosimi

<i>Balandlik, m</i>	<i>Bosim, Pa</i>	<i>Balandlik, m</i>	<i>Bosim, Pa</i>
0	101325	10000	26500
50	100720	11000	22700
100	100129	12000	19399
150	99536	13000	16580
200	98945	14000	14170
300	97773	15000	12112
400	96611	16000	10353
500	95461	17000	8850
600	94322	18000	7565
700	93194	19000	6467
800	92077	20000	5529
900	90972	25000	2549
1000	89876	30000	1197
2000	79501	40000	296
3000	70121	50000	79,8
4000	61660	60000	21,2
5000	54048	70000	5,22
6000	47218	80000	1,05
7000	41105	90000	0,183
8000	35652	100000	0,032
9000	30801	120000	0,0026

Atmosfera tarkibiga kiruvchi gazlarning parsial bosimi

<i>Gaz</i>	<i>Nisbiy molekular massa</i>	<i>Parsial bosim, Pa</i>
Azot	28	79110
Kislorod	32	21220
Argon	40	943
Karbonat anhidrid	44	31
Neon	20	1,9
Geliy	4	0,51
Kripton	83,8	0,11
Vodorod	2	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Ksenon	131,3	$8,1 \cdot 10^{-3}$
Ozon	48	$2 \cdot 10^{-4}$

Ba'zi bir gazlarning nisbiy molekular massalari

<i>Gaz</i>	<i>M_r</i>	<i>Gaz</i>	<i>M_r</i>
Azot N ₂	28,013	Ozon O ₃	47,998
Ammiak NH ₃	17,03	Azot oksidi (I) N ₂ O	44,01
Argon Ar	39,948	Azot oksidi (II) NO	30,01
Atsetilen C ₂ H ₂	26,04	Oltinugurt oksidi (VI) SO ₂	64,06
Vodorod H ₂	0159	Uglerod oksidi (II) CO	28,01
Havo	28,96	Uglerod oksidi (IV) CO ₂	44,01
Geliy He	4,0026	Propan C ₃ H ₈	44,10
Kislorod O ₂	31,999	Vodorod sulfid H ₂ S	34,08
Kripton Kr	83,80	Ftor F ₂	37,997
Ksenon Xe	131,30	Xlor Cl ₂	70,906
Metan CH ₄	16,04	Etan C ₂ H ₆	30,07
Neon Ne	20,183	Etilen C ₂ H ₄	28,05

Ba'zi moddalarning zichliklar (kg/m³)

<i>Gazlar (0 C harorat normal atmosfera bosimida)</i>			
Vodorod	0,08988	Kislorod	1,429
Havo	1,293	Karbonat anhidrid	1,977
<i>Suyugliklar</i>			
Benzol	880	Kerosin	800
Suv (+4)	1000	Qon	1050
Gliserin	1200	Simob	13600

Oltin	17200	Kumish	9300
Kanakunjut moyi	950	Spirit	790
Qattiq jismlar			
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 (K^{-1})

Chiziqli kengayish (uzayish)			
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	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Hajmiy kyengayish			
Suv ($5-10^{\circ}C$)	0,000053	Suv ($40-60^{\circ}C$)	0,000458
Suv ($10-20^{\circ}C$)	0,000150	Suv ($60-80^{\circ}C$)	0,000587
Suv ($20-40^{\circ}C$)	0,000302	Simob ($18^{\circ}C$)	0,00019

Ba'zi gazlarning solishtirma issiqlik sig'imi

Gaz	$C_p, \text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$C_v, \text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	C_p/C_v
Azot	1,051	0,745	1,40
Ammiak	2,244	1,675	1,31
Argon	0,523	0,322	1,67
Atsetilen	1,683	1,352	1,25
Vodorod	14,269	10,132	1,41
Havo	1,009	0,720	1,40
Geliy	5,269	3,182	1,66
Kislorod	0,913	0,653	1,40
Metan	2,483	1,700	1,31
Neon	1,038	0,620	1,68
Propan	1,863	1,650	1,13

Solishtirma issiqlik sig'imi

<i>Qattiq jismlar va suyuqliklar</i>			
<i>Modda</i>	<i>Solishtirma issiqlik sig'imi J/kg·K</i>	<i>Modda</i>	<i>Solishtirma issiqlik sig'imi J/kg·K</i>
Alyuminiy	896	Muz	2100
Benzin (50°C)	2095	Transformator moyi (20°C)	1800
Vismut	130	Mis	395
Suv (20°C)	4190	Simob	238
Volfram	295	Qo'rg'oshin	131
Temir (po'lat)	460	Spirt	2510
Jcz	386		

Suvning turli haroratlardagi solishtirma issiqlik sig'imi

<i>t, °C</i>	<i>C_m kJ/(kg·K)</i>	<i>t, °C</i>	<i>C_m kJ/(kg·K)</i>
0	4,212	60	4,178
10	4,191	70	4,187
20	4,183	80	4,195
30	4,174	90	4,208
40	4,174	100	4,220
50	4,174		

Suyuqlik, gaz va bug'larning qovushqoqligi

<i>Modda</i>	<i>Harorat, °C</i>	<i>Qovushqoqlik, mkPa, s</i>	<i>Modda</i>	<i>Harorat, °C</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°C 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 C)	64	Simob	500
Glitserin	64	Kumush (erish.t. 960 C)	780
Oltin (erish 1070 C)	610	Spirt	22

Turli haroratlarda havo bilan chegarada suvning sirt tarangligi

Harorat, °S	Sirt taranglik, mN/m	Harorat, °S	Sirt taranglik, mN/m	Harorat, °S	Sirt taranglik, mN/m
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'yilgan suv bug'ining bosimi va zichligi

T, °C	p, Pa	ρ , g/m ³	T, °C	p, Pa	ρ , 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

<i>Harorat , °S</i>	<i>Suv bug'i elastikligi, mm.sim.ust</i>	<i>Suv bug'i bo'lishinin g kritik qiymati, g/m³</i>	<i>Harorat , °S</i>	<i>Suv bug'i elastikligi, mm.sim.ust</i>	<i>Suv bug'i bo'lishinin g kritik qiymati, g/m³</i>
-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			

P=760 mm.sim.ust. da nisbiy namlik, % larda

$t^{\circ} - t_h^{\circ}$ t°	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7
-9	85	71									
-8	87	73	59	46							
-6	88	76	64	52	40	29					
-4	89	78	67	57	46	36					
-2	90	80	70	61	52	42	33	25			
0	91	82	73	65	56	48	39	31			
2	92	84	76	68	60	52	45	37	22		
4	92	85	78	70	63	56	49	42	29		
6	93	86	79	73	66	60	53	47	35	23	
8	94	87	81	75	69	63	57	51	40	29	18
10	94	88	82	76	71	65	60	54	44	34	24

$t^{\circ} - t_h^{\circ}$ t°	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
15	90	80	71	61	52	44	27	12			
20	91	83	74	66	59	51	37	24	12		
25	92	84	77	70	63	57	44	33	22	12	
30		86		73		61	50	39	30	21	13
35		87		75		64	53	44	35	27	20

Eslatma: t° – quruq termometr harorati, t_h° – ha'l termometr harorati.

20°S haroratda ayrim moddalarning to'yingan bug' bosimi

Modda	P, kPa
Atseton	24,0
Benzol	10,0
Suv	2,34
Metil spirti	12,9
Simob	$1,63 \cdot 10^{-4}$
Toluol	2,93
Xlorofol	21,3
Etil spirti	5,87

Turli moddalaning kritik parametrlari

<i>Modda</i>	<i>Harorat, °S</i>	<i>Bosim, MPa</i>	<i>Zichlik, kg/m³</i>
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
Ilavo	-140,7	3,77	350
Geliy	-267,9	0,23	69,3
Kislorod	-118,8	5,04	430
Kripton	-63,8	5,49	909
Kscnon	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

Modda	Issiqlik o'tkazuvchanlik, $Vt/(m.K)$	Modda	Issiqlik o'tkazuvchanlik, $Vt/(m.K)$
Alyuminiy	205	Mis	390
Argon	0,16	Qozon quyquumi	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

Modda	Mustahkamlik chegarasi N/m	Yung moduli N/m^2
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

Modda	Uchlanma nuqta harorati, $^{\circ}S$	Uchlanma nuqtada to'yingan bug' bosimi, Pa
-------	---	---

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 asboblari

<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	Vakuummeter
Energiya	Kalorimetr
Harorat	Termometr
Hajm (gaz)	Gazomer
Hajm (suyuqlik)	Vodomer

**“Molekular fizikada” ishlatiladigan fizik kattaliklarning asosiy
va hosilaviy birliklari**

Uzunlik uchun asosiy birlik “metr”(m)

1 metr = 10 dm

1 metr = 100 sm

1 metr = 1000 mm

1 metr = 10^{-3} km

Versta=1,0668 km

Yard=91,5 sm

Arshin=71,120 sm

Fut=30,48sm

Dyuym=25,4 mm

Liniya=2,54 mm

Vaqt uchun asosiy birlik “sekund” (s)

1 sutka=24 soat=1440 minut=86400 sekund

1 soat=60 minut=3600 sekund

1 minut=60 sekund

Massa uchun asosiy birlik “kilogramm” (kg)

1 tonna=1000 kg

1 s=100 kg

1 l (suv)=1 kg

1 g= 10^{-3} kg

1 mg= 10^{-6} kg

1 sm³ (suv)=1 g

1 mkg= 10^{-9} kg

Pud=16,38 kg

Fund=409,51g

Lot=12,797 g

Karat=0,2 g

Hajm uchun asosiy birlik “Litr” (l)

1 dm³=1l

1 l=1000 sm³

1 sm³=1 ml

1 m³=10³ dm³

1 m³=10⁶ sm³

1 m³=10⁹ mm³

1 km³=10⁹ m³

Arshin kub=0,35972 m³

Fut kub=28,317 dm³

Dyuym kub=16,387 sm³

Liniya kub=16,387 mm³

Bochka=0,5 m³

Barrel=159 l

Ish (energiya)ning asosiy birligi "Joul" (J)

1kJ = 10³ J

1MJ = 10⁶ J

1erg = 10⁻⁷ J

1eV = 1,6 · 10⁻¹⁹ J

1eV = 1,6 · 10⁻¹² erg

1kVt · soat = 3,6 · 10⁶ J = 3,6 MJ

1 kaloriya = 4,19 J

1J = 0,24 kaloriya

Yuzaning asosiy birligi "metr kvadrat" (m²)

1m² = 10⁻⁶ km²

1m² = 10² dm²

1m² = 10⁴ sm²

1m² = 10⁶ mm²

Versta kvadrat=1,138 km²

Arshin kvadrat=0,5058 m²

Fut kvadrat=9,29 dm²

Dyuym kvadrat=6,452 sm²

Liniya kvadrat=6,452 mm²

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. J.Kamolov, A.G'.Rasulmuxamedov, B.F.Izbosarov, I.Ismoilov. Umumiy fizika kursi. Toshkent O'qituvchi 1992.
2. A.N.Matveyev. Molckular fizika. Moskva Bisshaya shkola 1987.
3. D. V. Sivuxin. «Umumiy fizika kursi» «Termodinamika va molckular 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» Molckularnaya 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.Ilabibullayev, M.X.O'lmasova, A.Egamberdiyev. Fizikadan laboratoriya praktikumi, I-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. 2007.
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.
33. B.F.Izbosarov, A.K.Qutbedinov. Termodinamika asoslari. Navoiy. 2004.
34. O'Q.Tolipov, M.Usmonboyeva. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. Fan. Toshkent, 2006
35. X.I.Ibragimov, Sh.A.Abdullayeva. Pedagogika. Fan va texnologiyalar, Toshkent, 2007
36. Axborotnomalar. Davlat test markazi. Toshkent, 1997-2006
37. N.Sadriiddinov, A.Rahimov, A.Mamadaliyev, Z.Jamolova. Fizika o'qitish uslubi-yoti asoslari. O'zbekiston, Toshkent, 2006
38. O.Qodirov. Fizika kursi (Mexanika va molekular fizika) I-qism. Fan va texnologiyalar, Toshkent, 2005
39. I.Djabbarov, A.Yusupov. Mexanika i molekularnaya fizika. Fan va texnologiyalar, Toshkent, 2006.
40. J.A.Toshxonova va boshqalar. Mexanika va molekular fizikadan praktikum. Fan va texnologiyalar. Toshkent. 2006.

41. Yu.A.Xramov. Fiziki (biograficheskiy spravochnik). Nauka. Moskva. 1983.

42. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Umumiy fizikadan laboratoriya ishlari. Voris-nashriyot. Toshkent. 2007.

43. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Molekular fizika va termodinamika asoslari. Yurist-Media Markazi. Toshkent. 2008.

44. Izbosarov B, Kamolov I, Axmedov A, Ro'ziyev R. Masalalar yechishda amaliy mashg'ulotlarni uyg'unlashtirishning pedagogik imkoniyatlari "Pedagogik ta'lim" jurnali. 2008-yil 1-son. 43-46-betlar

45. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Molekular fizikani o'qitishda grafik usullardan foydalanish. Fizika, matematika va informatika jurnali. 1-son, 2008 yil.

46. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov, G.R.Fatullayeva, S.S.Navro'zova. Fizika fanini o'qitishda ilg'or pedagogik texnologiyalardan foydalanish. Fizika, matematika va informatika jurnali. 4,6-son, 2008 yil.

47. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov, G.R.Fatullayeva, I.H.Jalilova. Oliy ta'limda talaba mustaqil ishini yuqori darajaga ko'tarish omillari. Xalq ta'limi jurnali. 5-son, 2008 yil.

48. A.R.Sattorov, D.I.Kamolova. Quyosh va uning tabiiy yo'ldoshlari. Buxoro. 2009 yil.

MUNDARIJA

Soʻz boshi	3
------------------	---

I. BOʻLIM

MOLEKULAR-KINETIK NAZARIYA ASOSLARI

Molekular fizika predmeti. Molekular-kinetik nazariya asoslari	4
Harorat	6
Haroratni oʻlchash usullari	7
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy holatlari	9
Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi	11
Asosiy gaz qonunlarini keltirib chiqarish	13
Ideal gazlarning holat tenglamasi. Gaz doimiyligi	16
Molekular kinetik nazariyaning tajribaviy asoslari	18
Molekulalarning tezliklar boʻyicha (Maksvell) taqsimoti	21
Maksvellning taqsimot qonunini keltirib chiqarish	23
Bolsman doimiysi va bitta molekulaning kinetik energiyasi	26
Ehtimollik haqida tushuncha	27
Taqsimot funksiyasi	29
Maksvellning tezliklar taqsimoti qonunini tajribada tekshirish	31
Molekulalarning oʻrtacha toʻqnashishlari soni va oʻrtacha erkin yugurish yoʻli	34
Bolsman taqsimoti. Barometrik formula	36
Avogadro sonini aniqlash	40
Fluktuatsiya	43
Masalalar yechish namunalari	44
Mustaqil yechish uchun masalalar	62

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	70
Ideal gazning issiqlik sigʻimi. Maycr tenglamasi	71
Termodinamika birinchi qonunining izojarayonlarga tatbiqi. Izojarayonlarda gazning bajargan ishi	73
Issiqlik sigʻimining klassik nazariyasi	76
Issiqlik sigʻimining kvant nazariyasi	80
Qattiq jismlarning issiqlik sigʻimi	82
Qaytar va qaytmas jarayonlar. Aylanma jarayonlar (sikllar)	84
Adiabatik jarayon. Puasson tenglamasi	87
Politropik jarayon	90

Gazlarda tovushning tezligi	94
Masalalar yechish namunalari	97
Mustaqil yechish uchun masalalar	106

III. BO'LIM

TERMODINAMIKA II QONUNI. ENTROPIYA

Termodinamika II qonunining har xil ta'riflari va ularning ekvivalentligi	109
Karno teoremasi	111
Karno-Klauzius teoremasi	112
Real issiqlik mashinasining foydali ish ko'effitsiyenti	115
Absolut harorat shkalasi	116
Entropiya	117
Ikkinchi bosh qonunning asosiy tenglamasi	119
Jarayonlarning yo'nalishi va muvozanatning shartlari	120
Turli jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi	122
Gibbs energiyasi. Gelmholtz energiyasi (izotermik potentsiallar)	126
Entalpiya	129
Termodinamik potentsiallar	131
Termodinamik ehtimollik va entropiya. Termodinamika ikkinchi qonunining statistik xarakterda ekanligi	132
Koinotning "issiqlik o'limi" haqidagi idealistik xulosaning tanqidi	137
Masalalar yechish namunalari	142
Mustaqil yechish uchun masalalar	145

IV. BO'LIM

GAZLARDA KO'CHIRILISH HODISASI

Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi	148
Gazlarda ichki ishqalanish (qovushqoqlik)	151
Gazlarda diffuziya	154
Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik, diffuziya va qovushqoqlik ko'effitsiyentlari orasidagi bog'lanish	158
Ko'chirilish tenglamasi	159
Termodiffuziya	160
Vakuum to'g'risida tushuncha	161
Masalalar yechish namunalari	165
Mustaqil yechish uchun masalalar	169

V. BO'LIM

ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK

Issiqlik o'tkazuvchanlik	171
Haroratni muvozanatlash	176

Haroratning davriy rejimi (tartibi)	179
Nyutonning sovish qonuni	181
Konveksiya. Konvektiv issiqlik almashinuv tenglamasi	182
Masalalar yechish namunalari	186
Mustaqil yechish uchun masalalar	188

VI. BO'LIM REAL GAZLAR

Real gazlarning ideal gaz qonunlariga bo'ysunmasligi	190
Molekulalararo kuchlar	191
Van-der-Vaals tenglamasi	193
Gaz hajmiga tuzatmani hisoblash	195
Real gazlar uchun nazariy va eksperimental izotermalar	197
Kritik holat. Kritik parametrlarni hisoblash	201
Real gazlarning ichki energiyasi	204
Real gazlarning kengayishi	206
Joul-Tomson hodisasi	207
Past haroratlarni olish	211
Suyuq geliy xossalari. O'ta oquvchanlik	213
Masalalar yechish namunalari	215
Mustaqil yechish uchun masalalar	217

VII. BO'LIM SUYUQLIKLAR

Suyuqliklarning tuzilishi	219
Suyuqlikning issiqlikdan kengayishi	222
Suyuqliklarning issiqlik sig'imi	225
Sirt qatlam. Sirt taranglik	226
Suyuqlik sirt qatlami energiyasi	227
Sirt tarangligining haroratga bog'liqligi	229
Ho'llovchi va ho'llamovchi suyuqliklar	230
Laplas formulasi. Kapillyarlik	233
Bug'lanish. Kondensatsiya. To'yingan bug'. Namlik	236
Suyuqliklarning qaynashi	240
Shiller va Tomson paradoksi	241
Fazaviy o'tishlar	242
Suyuqlik va bug' muvozanati diagrammasi	244
Erish va qotish. Uchlanma nuqta	246
Fazaviy o'tishlarda entropiyaning o'zgarishi	250
Klapeyron-Klauzius tenglamasi	250
Van-der-Vaals tenglamasidagi doimiy va kritik parametrlarni aniqlash	252

Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi	254
II-tur fazoviy o'tishlar	256
Nernstning issiqlik qonuni	257
Masalalar yechish namunalari	259
Mustaqil yechish uchun masalalar	263

VIII. BO'LIM QATTIQ JISMLAR

Kristall va amorf jismlar	265
Polimerlar. Polimerlarning fizik-mexanikaviy xossalari	270
Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi va issiqlik o'tkazuvchanligi	273
Bir atomli qattiq jismlar issiqlik sig'imining klassik nazariyasi	276
Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi	278
Masalalar yechish namunalari	285
Mustaqil yechish uchun masalalar	288

IX. BO'LIM ERITMA VA QOTISHIMALAR

Eritmalar. Raul qonuni	291
Disperslik to'g'risida tushuncha. Kolloidlar	292
Eritma turlari. Termodinamik faollik	294
Osmotik bosim	297
Eritmalarning muzlash haroratlari	298
Absorbsiya	301
Adsorbsiya	303
Qotishmalar	305
Talabalar "Mustaqil ta'limi" ni shakllantirish va tashkil etish bo'yicha taklif va tavsiyalar	309
Fizika fanini o'qitishda ilg'or pedagogik texnologiyalardan foydalanish	312
TESTLAR	331
Fizika sohasi bo'yicha Nobel mukofoti sovrindorlari	381
IL.OVALAR	386
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR	401