

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLY TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI

JAMOLOVA SHAHLO QOBILOVNA

MOLEKULYAR FIZIKA

**Pedagogika oliy ta‘lim muassasalari Fizika ta‘lim yo‘nalishida tahsil
olayotgan talabalar uchun**

DARSLIK

BUXORO – 2025

Ushbu darslik pedagogika oliy ta'lim muassasalarining Fizika ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tahsil olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan. Darslikda xalqaro andozalar hamda yetakchi xorijiy oliy ta'lim tashkilotlarida qo'llayotgan namunaviy dasturlar va adabiyotlar asosida molekulyar fizika faniga oid ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar haqida batafsil bayon etilgan. Fanni o'qitishdan maqsad Respublikada bo'lajak pedagoglarning chuqur bilimli va yuqori salohiyatli, keng fikrlovchi, xorijiy hamkasblari bilan raqobatlasha oladigan yetuk mutaxassis bo'lishini ta'minlashdan iborat.

KIRISH

Bugungi kunda O‘zbekiston Respublikasida ta’lim sohasini isloh qilish, ayniqsa, oliy ta’lim tizimini xalqaro talablarga mos ravishda modernizatsiya qilish yo‘lida muhim qadamlar qo‘yilmoqda. Prezidentimiz rahbarligida ilm-fan, innovatsiya va yuqori malakali kadrlar tayyorlash borasida olib borilayotgan tub islohotlar - yangi avlod o‘qituvchilari, olimlari va mutaxassislarini etishtirishga xizmat qilmoqda. Bu esa, o‘z navbatida, har bir fanning zamonaviy talablarga mos, chuqur nazariy va amaliy asoslangan darsliklarga bo‘lgan ehtiyojini orttirmoqda.

Molekulyar fizika - fizikaning asosiy bo‘limlaridan biri bo‘lib, moddaning ichki tuzilishi, atom va molekularning harakati hamda ularning o‘zaro ta’siriga asoslangan fizik qonuniyatlarni o‘rganadi. Bu fan orqali talaba mikrodunyoni makroskopik hodisalar bilan bog‘lashni, issiqlik, bosim, energiya kabi fundamental tushunchalarning asl mohiyatini anglaydi.

Mazkur darslik O‘zbekiston oliy ta’lim tizimidagi yangilanishlar, ilg‘or tajribalar va xalqaro standartlar asosida ishlab chiqilgan bo‘lib, molekulyar fizikani o‘rganishda zamonaviy metodik yondashuvni o‘z ichiga oladi. Darslikda nazariy bilimlar bilan bir qatorda amaliy mashg‘ulotlarga e’tibor qaratilgan, har bir mavzu zamonaviy fan yutuqlari bilan boyitilgan.

Darslikdan foydalanish jarayonida talabalar nafaqat fan asoslarini puxta egallaydilar, balki ularni amaliyotda qo‘llash ko‘nikmasiga ham ega bo‘ladilar. Bu esa O‘zbekistonda shakllanayotgan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasida belgilangan - ilm-fanli, raqobatbardosh va innovatsion jamiyatni barpo etish yo‘lidagi ustuvor maqsadlarga xizmat qiladi.

Molekulyar fizika - moddalar tuzilishini mikroskopik darajada o‘rganuvchi fizikaning muhim bo‘limlaridan biridir. Ushbu fan atom va molekularning harakati, o‘zaro ta’siri, hamda ularning makroskopik holatlar bilan qanday bog‘liqligini tushuntirib beradi. Harorat, bosim, ichki energiya, issiqlik sig‘imi kabi fizik kattaliklarning asl mohiyatini tushunish aynan molekulyar fizikani o‘rganish orqali yuzaga chiqadi.

Mazkur darslik oliy ta’lim muassasalari talabalari uchun tayyorlangan bo‘lib, unda molekulyar-fizikaviy jarayonlar nazariyasi, gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlarning asosiy xossalari, issiqlik hodisalari va ularning nazariy asoslari izchil bayon etilgan. Shuningdek, darslikda zamonaviy ilmiy tadqiqotlar va texnologiyalar bilan bog‘liq mavzular ham o‘z aksini topgan.

Darslikning asosiy maqsadi - talabalarda molekulyar-fizikaviy fikrlashni shakllantirish, ularni ilmiy izlanish va amaliy qo‘llashga tayyorlashdan iborat. Har bir bob nazariy asoslar, amaliy misollar va mustahkamlovchi savollar bilan boyitilgan bo‘lib, o‘quvchilarga fan asoslarini chuqurroq o‘zlashtirish imkonini beradi.

I BOB. MOLEKULAR KINETIK NAZARIYANING ASOSIY QOIDALARI VA MODDA TUZILISHI

1.1. Mavzu: Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qoidalari. Modda tuzilishi. Atom va molekularlar va ularning o'lchamlari. Diffuziya. Brown harakati. Molekulyar o'zaro ta'sir kuchlari. Termodinamik tizim va uning tavsifi. Temperatura

Mexanika kursida jismlarning harakat qonunlari bilan tanishganimizda bu jismlarning qanday tuzilganligi, ularning qanday xossalarga ega ekanligi kabi masalalarga e'tibor bermadik. Aslida jismlarning xossalari esa ularning qanday tuzilganligi, qanday qismlardan tashkil topganiga va shuningdek, bu qismlar orasida qanday kuchlar ta'sir qilishga va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Sh nuqtai nazardan moddaning tuzilishi haqidagi masala fizikaning asosiy masalaridan biri hisoblanadi.

Umumiy fizika kursining molekulyar fizika va termodinamika deb ataladigan bu bo'limda jismlarda sodir bo'ladigan issiqlik harakatlari va ularning molekulyar talqini hamda jism tarkibiga kiruvchi ko'p sonli zarralar harakatiga bog'liq bo'lgan harakat shakllari o'rganiladi.

Biz hozir moddalar har doim tartibsiz issiqlik harakatida bo'luvchi mayda-mayda zarrachalardan iboratligini bilamiz. Moddalar tuzilishining *molekulyar-kinetik nazariyasiga* asoslanib, modda agregat holatlarining tuzilishi va xossalarini o'rganuvchi fizikaning bo'limi *molekulyar fizika* deyiladi.

Termodinamika jismdagi issiqlik hodisalarini o'rganadi, lekin bunda u moddaning tuzilishi va issiqlikning fizik tabiati to'g'risida hech qanday tasavvurlardan foydalanmaydi va u issiqlikni yaxlit biror ichki harakat turi deb qaraydi. Molekulyar fizika, aksincha jismlarning xossalarini shu jumladan, issiqlik hodisalarini ham ularning atom-molekulyar tuzilishi bilan bog'lab o'rganadi va issiqlikni atom va molekularlarning tartibsiz harakati natijasi deb qaraydi.

Barcha jismlarning eng mayda zarralar - atomlardan iborat ekanligi haqidagi tasavvurlar eng qadim zamonlardayoq paydo bo'lgan. Grek faylasufi Demokrit eramizdan avvalgi V asrda barcha jismlar mayda zarralardan ya'ni atom va molekularlardan tuzilgan, degan fikrni ilgari surgan. Keyinchalik bunday atomistik dunyoqarash unutilib yuborildi. XVII asr oxirlarida Boyle-Mariott, Gey-Lyussak, Dalton, Avagadro tomonidan eksperimental ravishda ochilgan gaz qonunlari modda tuzilishining molekulyar nazariyasiga qo'shilgan o'lkan hissa bo'ldi. Gaz ham qattiq jismlar va suyuqliklar kabi o'z massasiga ega. Moddaning atom va molekular tuzilishi haqidagi tasavvurlar ancha rivoj topdi.

Ayni moddani tashkil qiluvchi molekular mutlaqo bir xildir: turli moddalar esa turli molekularlardan iborat. Bir necha atom birikib molekularni tashkil etadi.

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.

Gaz qonunlarini o'rganishda molyar massa tushunchasidan foydalanish qulay hisoblanadi. Moddaning bir molining massasi uning molyar massasi deyiladi va μ

bilan belgilanadi. Uglerod-12 izotopining 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (atom, molekula) lardan tashkil topgan moddaning miqdori bir mol deb ataladi. Bu birlik shu bilan qulayki, 1 mol gazdagi molekular soni gazning turiga bogliq bo'lmagan o'zgarmas kattalik bo'lib, ushbu qiymat Avagadro soni $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ deb ataladi. Bitta molekulaning massasi m bo'lsa, Avagadro soni orqali molyar massa quyidagi ifodagi ega bo'ladi:

$$\mu = m_0 \cdot N_A \quad (1)$$

Atom va molekularning radiusini aniqroq tasavvur qilish uchun quyidagi misolni keltiraylik. 1 sm^3 mis (Cu) tarkibidagi hamma atomlarni bir qator qilib tersak, uzunligi 14 milliard kilometr bo'lgan zanjir hosil bo'ladi. Bu uzunlik erdan quyoshgacha bo'lgan masofada qariyb 90 marta ortiq. Zamonaviy elektron mikroskoplar radiusi mikrondan bir necha yuz marta kichik bo'lgan mikrokrallarni kuzatish imkoniyatini beradi. Bunday mikrokrall bir necha yuz ming atomdan iboratdir. Vodород atomining massasini hisoblaylik.

$$m_H = \frac{\mu}{N} = \frac{1/16 \text{ g/mol}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,662 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Normal sharoitda istalgan bir kilomol gazning egallagan hajmi $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ga teng ekanligini e'tiborga olsak, 1 m^3 hajmdagi molekular soni $n_0 = N / N_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ga tengligini topamiz. Bu songa Loshmidt soni deyiladi.

Atomning o'lchami tazminan $\sim 10^{-8} \text{ sm}$ ga teng. Yadro o'lchami esa $\sim 10^{-13} \text{ sm}$, Atomning massasi asosan uning yadrosida joylashgan. Yadro Z ta proton va $N = A - Z$ neytrondan tashkil topgan. Yuqorida ta'kidlanganidek, har qanday moddaning bir molida Avagadro soniga teng bo'lgan molekular bo'ladi. Mos ravishda N ta molekuladan tashkil topgan gazning massasini quyidagi ifodadan topiladi:

$$m = m_0 \cdot N \quad (2)$$

(1) va (2) ifodalardan V hajmdagi gaz molekularning sonini aniqlaymiz:

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A \quad (3)$$

Demak, biror hajmdagi modda molekulari sonini aniqlashda gaz massasining m/μ nisbiy massasi, ya'ni moddadagi mollar sonini bilish kifoyadir. Ravshanki, N ta gaz molekulari egallangan hajm ma'lum bo'lsa, birlik hajmdagi molekular soni uning konsentratsiyasi deyiladi va bu kattalik $n = \frac{N}{V}$ ifodadan aniqlanadi. Avagadro soni yordamida molekularning kattaligini va absolyut massalarini hisoblash mumkin. Masalan, 1 sm^3 suvni olaylik. Uning massasi 1 g bo'lib, bir mol suvning $1/18$ qismini tashkil qiladi. Demak, 1 sm^3 suvda $\frac{6,023}{18} \cdot 10^{23} = 3,34 \cdot 10^{22}$ dona suv molekulari bo'ladi. Shunday qilib, bitta suv molekulasi hajmi $V = \frac{1}{3,34 \cdot 10^{22}} \text{ sm}^3 = 3 \cdot 10^{-23} \text{ sm}^3$ ga teng. Uning o'lchami (radiusi) taxminan 10^{-8} sm ga teng.

XIX asrning ikkinchi yarmiga kelib R.Y. Mayer Joul, Klauzius, J. Maksvell, Bolsman, Gibbs kabi olimlarning modda tuzilishi va issiqlik hodisalari tabiatiga qo'shgan hissasi bilan molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qonunlari hozirgi ko'rinishga keldi. Ushbu qonunlarga asosan barcha moddalar juda mayda alohida zarralar: atom va molekulalardan tuzilganligi ma'lum bo'ldi.

Molekular-kinetik nazariya (MKN) deb, jismlarning xossalari va xususiyatlarini jismni tashkil qilgan zarrachalarining o'zaro ta'siri va harakati asosida tushuntirib beruvchi nazariyaga aytiladi. MKN ning asosiy qoidalari quyidagilardan iborat:

1. Har qanday modda (gaz, suyuq, qattiq jism) mayda zarrachalar (atom va molekulalar)dan tashkil topgan.

2. Atom va molekulalar xaotik tartibsiz issiqlik harakatida bo'ladi.

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

Molekulaning xossasi uning tuzilishiga, qanday atomlardan tashkil topganligiga, atomlarning soniga, atomlarning fazoviy joylashishiga, atomlar orasidagi tortishish kuchining tabiatiga bog'liq bo'ladi. Biroq molekulyar kinetik nazariya yaratishni ko'p sondagi zarralar bilan ish ko'rilganligi sababli qiyin kechdi va XX asr boshiga kelibgina uzil-kesil g'alaba qildi.

Birinchi marta bu nazaryani M.V. Lomonosov moddaning turli agregat holatlardagi xususiyatlarini tushuntirish maqsadida rivojlantirgan edi.

Qator kuzatishlar va tajribalardan ma'lum bo'ldiki, moddani tashkil qiluvchi molekulalarning harakati tartibsiz va hech qachon to'xtamaydi, bu harakat faqat modda haroratiga bog'liq bo'lishi tajribalarda tasdiqlandi. Shuningdek, MKNning to'g'riligi tajribalarda o'z tasdiqini topdi. Bunga diffuziya va Broun harakati hodisalari misol bo'ladi.

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

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

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

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

- 4) Suyuqlik yoki gaz zarralarining tartibsiz (xaotik) harakatda bo'lishini, diffuziya va Broun harakati tasdiqlaydi.

XX asrning boshlarida qilingan kashfiyotlardan atomning murakkab tuzilganligi ma'lum bo'ldi. Atomning planetar modeli kashf etildi.

Hozirgi vaqtda atomlarda harakatlanuvchi zaryadlangan zarralarning borligigagina emas, balki uning atomar tuzilishi ham aniq ifodalab berilgan. Ammo atom tuzilishi qonunlarini mumtoz (klassik) mexanika yordamida to'la tushuntirish mumkin emasligi ravshan bo'lib qoldi. Shuningdek, atomni tashkil etgan zaryadli zarralarni harakat holati uchun odatdagi mumtoz mexanika tasavvurlarini qo'llab bo'lmas ekan. Buning ajablanarli joyi yuq, chunki mumtoz mexanika biz ko'ra oladigan va seza oladigan katta masshtabdagi jismlarning harakatiga doir kuzatishlar asosida yaratilgan.

Molekulyar kinetik nazaryani asoslash uchun biz misol tariqasida Broun harakatini qarab chiqamiz. Broun suyuqlikda muallaq turgan juda mayda zarrlarning mikroskop ostida tartibsiz harakatini kuzatgan va zarraning harakatlanish sababini izlagan. Kuzatishlar natijasida harorat ortishi bilan Broun harakati jadallashganligini ma'lum bo'ldi. Broun harakati modda tuzilishi molekular-kinetik nazariyasini rivojiga ulkan hissa qo'shdi. Ushbu harakatni yaratilish tarixiga to'xtalib o'tamiz.

1744-1748-yillarda rus olimi M.V. Lomonosov modda tuzilishining atom-molekulyar nazariyasini keng ishlab chiqdi va birinchi bo'lib, issiqlikning molekulyar-kinetik nazariyasi to'g'ri ekanligini isbot qildi. M.V. Lomonosov issiqlikni modda zarralarining aylanma harakati deb qaragan. O'zining nazaryasiga asoslanib Lomonosov jismlarni erishi, bug'lanishi va issiqlik o'tkazuvchanlik hodisalarini umumiy jihatlarini to'g'ri talqin qilib bergan. U modda zarralarining harakati to'xtaydigan holatda "Sovuqning eng past darajasi" borligini xulosa qilgan.

Hozirgi aniq hisoblashlar har bir santimetr kub havoda $2,77 \cdot 10^{19}$ ta molekular borligini va ular har bir sekundda 10^{10} marta to'qnashishini ko'rsatadi. Bunda u ayrim olingan molekulaning harakatini tavsiflovchi o'rtacha kattaliklar bilan ish ko'riladi. Bu usul *statistik usul* deyiladi. Statistik usulda ehtimollik nazariyasiga asoslangan matematik hisoblashlardan keng qo'llaniladi.

Molekulalar fizikada statistik usul bir-biriga o'xshagan nihoyatda ko'p, lekin bir-biridan mustaqil bo'lgan hodisalar to'plamini tekshirish uchun qo'llaniladi. Umuman, molekulyar fizikaning miqdoriy qonuniyatlarini aniqlashda foydalaniladigan statistik usulda (molekulyar kinetik usul deb ham yuritiladi) ehtimollik nazariyasiga asoslangan matematik hisoblashlar (Masalan, turli kattaliklar o'rtacha qiymatlarini hisoblash) keng qo'llaniladi. Statistik usul makrojismlarning molekulyar tuzilishi va ayrim molekulalarning o'za'ro ta'sirini o'rganish asosida makrojismlardagi jarayonlarning sodir bo'lishiga oid qonuniyatlarni aniqlaydi. Ammo mikroskopik jismlar xossalari ularni ichki tuzilishlarini e'tiborga olmasdan ham tekshirish mumkin. Bunda makrosistemalarning energetik xarakteristikalari va turlari makroskopik kattaliklar orasidagi bog'lanishlar o'rganiladi.

Termodinamik usul. Molekulyar fizikada energiyaning bir turdan boshqa turlarga aylanish jarayonlari bilan bog'liq usulga Termodinamik usul deb ataladi. Bu usulda sistemani tashkil etuvchi zarralarning ichki strukturasi, tuzilishi bilan qiziqmasdan, butun sistema holatini xarakterlovchi parametrlar bosim, hajm, temperatura o'zgarishi e'tiborga olinadi. Termodinamik usul termodinamikada

qonunlarga tayanib, uning xulosalari tajriba dalillarini umumlashtiruvchi prinsiplarga asoslangan, ko'p zarrali sistemalarni o'rganishda Termodinamik usul va statistik usullar bir-birini to'ldiradi. Chunki termodinamikada sistema bir butun, to'liq olib qaralsa, statistik fizikada shu sistema ichida bo'ladigan jarayonlar sistemani tashkil etuvchi zarralarning umumiy xossalari orqali o'rganiladi. Masalan ideal gaz qonunlari matematik statistikani eng sodda modelidir.

Nazorat savollari

1. Diffuziya hodisasini tushuntiring
2. Modda molekulyar-kinetik nazariyasi to'g'risidagi klassik nazariyasini mohiyatini tushuntiring.
3. Atomni tuzilishini tushuntiring.
4. Termodinamik usul va statistik usullar haqida ma'lumot bering.
5. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qoidalarini ayting.
6. Broun harakati haqida ma'lumot bering.

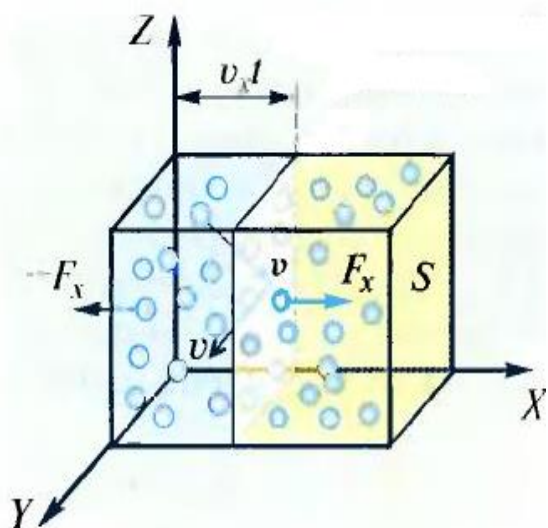
1.2. Mavzu: Gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasi. Ideal gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasi. Ideal gaz qonunlari. Ideal gaz holat tenglamasi. Mendeleyev-Kleyperon tenglamasi. Izojarayonlar.

Modda tuzilishi bilan bog'liq molekulyar tizimlarni o'rganishda biz statistik va termodinamik usullardan foydalanishni ko'rgan edik. Har qanday moddaning uch agregat holatidan eng soddasi gazsimon holatidir. Chunki moddaning gaz holatida molekulalar orasidagi ta'sir qiluvchi kuchlar juda kichik bo'lib, ularni nazarga olmaslik mumkin. Shuning uchun biz molekulyar fizikada moddaning gaz holatini bayon qilishda dastlab ideal gazlarning xossalarini o'rganishdan boshlaymiz. Ideal gazlar tabiati va ularning xossalarini o'rganishda quyidagi farazlarga tayanamiz:

a) molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari juda kichik deb hisoblab, uni hisobga olmaymiz.

b) molekulalarning o'lchamlarini ham nazarga olmaymiz, Ya'ni ularni moddiy nuqta deb qarash lozim. Molekulalarning o'zaro to'qnashishlari xuddi sharlarning elastik to'qnashishlari kabi sodir bo'ladi deb hisoblaymiz.

Molekulalarning o'zaro to'qnashishlar soni ularning idish devorlariga urulish soniga qaraganda nazarga olmaslik darajada kichik. Yuqoridagi shartlarni qanoatlantiruvchi gaz ideal gaz deb ataladi. Ma'lum bo'lishicha, normal sharoitga yaqin sharoitlarda, shuningdek, past bosim va yuqori temperaturalarda real gaz o'z xossalari jihatidan ideal gazga yaqin bo'lar ekan. Haqiqatdan ham gaz molekulalari tartibsiz harakatlanib, o'zi solingan idish devorlari bilan to'qnashadi. Shuningdek gaz molekulalari bir-bir bilan tez-tez to'qnashub turadi. Bunday paytlarda gaz molekulalari orasida masofa ortishi bilan to'qnashishlar soni ham kamayadi. Tartibsiz to'qnashishlar ta'sirida gaz molekulalari o'zining harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Bunday jarayon to'qnashuv deb ataladi. Molekulalarning o'zaro to'qnashishi gaz tabiatida juda katta rol o'ynaydi. Gaz to'ldirilgan idishda gaz molekulalarini o'zaro yoki idish devori sirti bilan to'qnashishini nazarga olish muhimdir.



Gaz molekulari idish devorlariga va aksincha qarama-qarshi yoʻnalishda idish devori molekularini taʼsirini qaraylik. Gazning idish devorlariga beradigan bosimi alohida molekularning urilishidan kelib chiqadi deb 1738 - yil Peterburglik akademik Daniil Bernulli taklif qilgan.

Ideal gaz. Ideal gaz xossalarini oʻrganishdan boshlaymiz. Ideal gaz real gazning modeli bolib, yuqorida aytilgan farazlarga boʻysunadi. Agar shu shartlarni birortasi bajarilmasa, u gaz real gaz boʻladi.

Faraz qilaylik biror parallelipiped shakldagi idish ichida gaz turgan boʻlsin. Gaz molekulari idish ichida harakat qilar ekan, ular bir-biri bilan yoki shu molekular idish devoriga yaqinlashganda (toʻqnashganda), ular orasida oʻzaro taʼsir kuchlari mavjud boʻladi va ular oʻz yoʻnalishini oʻzgartiradi. Idish devorining sirti qancha katta boʻlsa, gaz tomonidan devorga taʼsir qiluvchi kuch shuncha katta boʻlishi ravshan. Lekin, gaz molekulari berilgan vaqt intervalida barcha yoʻnalishlar boʻylab deyarli bir xilda harakat qiladi va 1 m^2 yuzaga taʼsir qiluvchi kuchi F bir xil. Shuning uchun biz yuza birligiga taʼsir qiluvchi kuch, yaʼni bosim P ni yuza S orqali ifodalaymiz:

$$P = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Gazning idish devorlariga beradigan bosimi, XVIII asrdayoq Daniel Bernulli taxmin qilganidek, gaz molekularining idish devorlari bilan cheksiz toʻqnashishlari natijasida sodir boʻladi. Gaz molekulari idish devorlarini deformatsiyalaydi va devorning elastik deformatsiya kuchlanishi ($\frac{F}{S}$) gaz bosimiga teng va qarama-qarshi yoʻnalgan boʻladi. Garchi molekularning toʻqnashishidagi oʻzaro taʼsir kuchi nomaʼlum boʻlsa ham, mexanika qonunlaridan foydalanib, molekular birgalikda yuza birligiga taʼsir qilgandagi kuchini, yaʼni gazning bosimini aniqlaymiz. Molekular issiqlik harakati tartibsiz boʻlib, bu harakat natijasida ular har doim bir-biri bilan va idish devori bilan toʻqnashib turadi. Gaz molekulari bilan idish devori hosil qilingan oʻzaro taʼsirlaridan foydalanib, gazning devorga bergan taʼsir kuchi natijasida hosil qilgan bosimini hisoblaymiz. Faraz qilaylik, gaz paralelipiped shakldagi idishga solingan va gaz umuman muvozanat holatida turibdi deylik. Bunda biror ixtiyoriy yoʻnalishdagi harakatlanadigan molekular soni unga qarama-qarshi yoʻnalishdagi molekular soniga teng boʻladi yaʼni $N_{-x} = N_x$, $N_{-y} = N_y$, $N_{-z} = N_z$. Birlik vaqt ichida idish devorining birlik yuzasiga molekular tomonidan berilayotgan impulslar yigindisi bosimni hosil qiladi.

Nyutonning II qonuniga asosan har bir molekulaning kuch impulsi $|f_i \cdot \Delta t| = f_i \cdot \Delta t$. Teng. Molekulaning devorga bergan impulsi quyidagi ifodadan topiladi.

$$f \cdot \Delta t = mv_x - (mv_x) = 2mv_x \quad (2)$$

Chapdan o'ngga harakat qilayotgan molekulalar, o'ngdan chapga qaytayotgan molekulalar soniga teng. Ularning sonini Δt vaqt ichida $v_x \cdot \Delta t$ masofani bosib o'ta olgan molekulalar orqali ifodalaymiz.

Agar idishdagi molekulalar konsentratsiyasi $n = \frac{N}{V}$ bo'lsa, unda $N = \frac{nV}{2}$ molekulalar soni (chapdan o'ngga tomon harakatlanadigan) $N = \frac{1}{2}n \cdot v_x \cdot \Delta t \cdot S$ ga teng bo'ladi. Gaz molekulalarining yig'indi impulsi esa $F \cdot \Delta t = f_0 \cdot \Delta t \cdot N = nmv_x^2 \cdot S \cdot \Delta t$ ga teng bo'ladi. Gazning bosimi $P = \frac{F}{S}$ ga teng ekanligini hisobga olsak, unda gazning idish devoriga beradigan bosimi quydagiga teng bo'ladi:

$$P = nmv_x^2 \quad (3)$$

Paskal qonuniga binoan $P_x = P_y = P_z$ bo'lgani uchun bosimning x,y,z o'qlardagi proeksiyalari quyidagicha bo'ladi.

$$P_x = nm\bar{v}_x^2, \quad P_y = nm\bar{v}_y^2, \quad P_z = nm\bar{v}_z^2$$

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, gaz bosimi deb, gaz molekulalarining vaqt birligida, idish devori yuza birligiga bergan kuch impulsiga aytiladi. Lekin molekulalar $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$ tezlik bilan ixtiyoriy yo'nalishda harakat qiladi. Biz ularning tezliklarini o'rtacha qiymati bilan xarakterlaymiz.

$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ yoki $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$ va $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$ desak, $\bar{v}_x^2 = v^2/3$ bo'ladi. Chunki $P_x = P_y = P_z = P$, $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$, $v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ ni hisobga olsak, $P = nm\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}nm\bar{v}^2$ bo'lgani uchun gazning idish devoriga bergan bosimi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{1}{3}nm\bar{v}^2 \quad (4)$$

Agar $\frac{m\bar{v}^2}{2} = E_k$ molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi ekanini hisobga olsak,

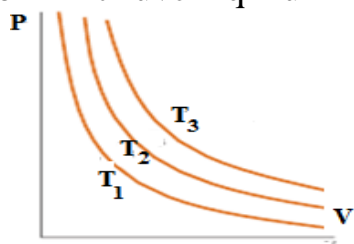
$$P = \frac{2}{3}n \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3}n\bar{E}_k \quad (5)$$

bo'ladi. Bu tenglama ideal gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deb ataladi. Demak, gazning bosimi, hajm birligidagi molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng bo'lar ekan. Agar $n = const$ bo'lsa, unda gaz bosimi P gaz molekulalari konsentratsiyasi va molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasiga proporsional bo'ladi.

Ideal gaz qonunlari. Boyle-mariott qonuni

Gaz temperaturasi o'zgarmas bo'lganda ya'ni ($T = const$, izotermik jarayonda) gaz bosimining gaz hajmiga bog'liqlik qonuniyatini ingliz olimi Boyle (1662 y) va

fransuz olimi Mariott (1667 y) bir-biridan mustaqil holda, keyinchalik ularning nomi bilan ataluvchi qonunini kashf qildilar.



Bu qonunga asosan gazning massasi va temperaturasi o'zgarmas bo'lganda $T = const$, uning bosimi hajmiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi. Boshqacha aytganda, gazning bosimi P ni gaz hajmi V ga ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir.

$$PV = const \quad (6)$$

bu formula Boyle-Mariott qonunini matematik ifodasidir. Gaz massasi va temperaturasi $T = const$ bo'lganda, gaz bosimi P bilan hajmi V orasidagi bog'lanish grafigi teng yonli giperbola bilan tasvirlanadi. Rasmda Boyle-Mariott qonuni tasvirlovchi egri chiziqlar turli temperaturalar uchun ko'rsatilgan. Boyle-Mariott qonuni taqribiy qonundur. Chunki real gazlar Boyle-Mariott qonuni beradigan natijaga qaraganda kamroq siqiladi. Biroq, xona temperaturasiga yaqin haroratlarda va atmosfera bosimidan ko'p farq qilmaydigan bosimlarda ko'pchilik gazlar Boyle-Mariott qonuniga etarli darajadagi aniqlik bilan bo'y so'nadilar.

Gey-Lyussak qonuni. Izobarik ($P = const$) va izoxorik ($V = const$) gaz jarayonlarini o'rganib, fransuz fizigi Gey-Lyussak 1802-yilda o'z nomi bilan atalgan quyidagi qonunni aniqladi.

Berilgan massali gaz uchun o'zgarmas bosimda ($P = const$) gazning hajmi temperaturaning o'zgarishi bilan chiziqli o'zgaradi.

$$V = V_0(1 + \alpha T) \quad (7)$$

bu erda V_0 – gazning 273 K haroratdagi hajmi, α – gazning hajmiy kengayish termik koeffitsiyenti.

Gey-Lyussak qonuniga o'xshash Sharl qonunida esa berilgan massali gaz uchun, gaz hajmi o'zgarmas ($V = const$) bo'lganda uning bosimi absolyut temperaturaga to'g'ri proporsionaldir:

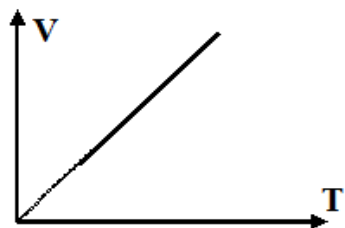
$$P = P_0(1 + \gamma T) \quad (8)$$

Bu erda P_0 – gazning 273 K dagi bosimi, P – gazning T temperaturadagi bosimi, γ - gaz bosimining termik kengayish koeffisienti. Barcha gazlar uchun, $\alpha = \gamma = \frac{1}{273} K^{-1}$ (2.10) va (2.11) formulalarga muvofiq, izobarik va izoxorik jarayonlar grafiglari (2 va 3-rasmlarda keltirilgan. Koordinata boshi ya'ni $T=0$ termodinamik shkalasining sanoq boshi deb qabul qilish mumkin. Bu temperatura absolyut nol temperatura deb ataiadi. U Selsiy shkalasi bo'yicha o'lchangan t temperatura bilan quyidagicha bog'lanishda bo'ladi.

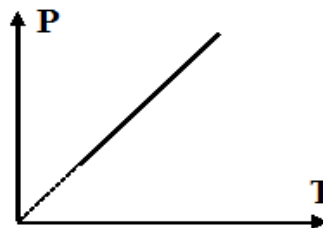
$$T = t + 273,15^0 K \approx t + 273^0 K \quad (9)$$

ga teng bo'ladi: (9) formuladan absolyut nolga teng bo'lgan temperaturada gaz hajmi nolga intiladi. Ya'ni absolyut nolda barcha moddalar o'zining termodinamik xossalarini yo'qotadi. Bu xulosa past temperaturalarda eksperimental gaz qonunlarini qo'llash mumkin emas degan fikrni yana bir marta tasdiqlaydi.

Haqiqatdan ham, past temperaturalarda modda gazsimon holatda bo'lishi mumkin emas, u suyuq holatga, hatto qattiq holatga o'tadi.



2-rasm.



3-rasm.

Termodinamik temperatura yordamida (7) formulani yana sodda ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$V = V_0(1 + \gamma) = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} (T - 273) \right) = V_0 \frac{T}{T_0}; \text{ binobarin,}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \text{yoki} \quad \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \text{const} \quad (10)$$

Ya’ni o‘zgarmas bosimda gazning hajmi termodinamik temperaturaga proporsional bo‘ladi. Xuddi shu yo‘l bilan (8) formulani o‘zgartirib, quyidagi nisbatini olamiz

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \quad (11)$$

bu erda T – gazning absolyut temperaturasi. Oxirgi formula Sharl qonunining matematik ifodasidir. Ya’ni o‘zgarmas hajmda ($V = \text{const}$) gazning bosimi absolyut temperaturasiga proporsional bo‘ladi.

Ideal gazning holat tenglamasi: Gaz jarayonlarida gaz holatining parametrlaridan biri o‘zgarmay qolib, qolgan ikkitasining o‘zgarishi ko‘p kuzatiladi. Bir vaqtda gazning hajmi ham, bosimi ham, temperaturasi ham o‘zgaradigan eng umumiy jarayonlarini qaraymiz. Bunday jarayonlarni tasvirlovchi qonunni Boyle-Mariott va Gey-Lyussak qonunlarini birlashtirish yo‘li bilan 1834 yilda fransuz fizigi (Sankt-Peterburg temir yo‘llar institutida ishlagan yillari) Klapeyron aniqlagan. Biror m massali gazning holati V_1, P_1 , va T_1 parametrlar bilan xarakterlansin. Uni V_2, P_2 va T_2 parametrlar bilan xarakterlanuvchi boshqa holatga o‘tkazamiz. Bu jarayonni quyidagi ikki bosqich bilan bajaramiz:

1. Dastlab izotermik ravishda temperatura ($T_1 = \text{const}$, bo‘lganda) gazning hajmini V_2 qiymatgacha o‘zgartiramiz, bunda uning bosimi P_1' ga teng bo‘ladi.

2. So‘ngra izoxorik (hajm $V_2 \approx \text{const}$ bo‘lganda) gazning temperaturasini shunday T_2 qiymatgacha o‘zgartiramizki, bunda uning bosimi P_2 bo‘lib qolsin. Jarayonning birinchi bosqichi Boyle-Mariott qonuni bilan tavsiflanadi va shuning uchun

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (12)$$

Jarayonning ikkinchi bosqichi Gey-Lyussak qonuni (10) bilan ifodalanadi va demak, $\frac{P_1'}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ bu formulaga P_1' ni (14) formuladan qo‘yib, quyidagi munosabatini

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

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

Binobarin, oxiri ifodadan ko‘rish mumkinki, gazning berilgan massasi uchun $\frac{PV}{T}$ kattalik o‘zgarmasdan qolar ekan.

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

bu ifoda Klapeyron tenglamasi deb ataladi.

Klapeyron tenglamasining kamchiligi shundan iboratki, B doimiy kattalik turli gazlar uchun turlichadir. Bu kamchilikni yo‘qotish uchun 1875-yilda Mendeleev Klapeyron tenglamasi ko‘rinishini Avagadro qonuni bilan birlashtirib bir oz o‘zgartiradi. Buning uchun 1 kmol gazni ko‘raylik va uning hajmini V_μ bilan belgilasak u holda Klapeyron tenglamasi quyidagi ko‘rinishga keladi.

$$\frac{PV_\mu}{T} = B \quad (15)$$

Avagadro qonuniga asosan P va T ning bir xil qiymatlarida hamma gazlarning 1 kilomoli bir xil V_μ hajmini egallaydi, demak, B doimiy barcha gazlar uchun bir xil bo‘ladi. B ning bu qiymatini R bilan belgilasak, u holda

$$\frac{PV_\mu}{T} = R \quad (16)$$

bo‘lib, bu erda R universal gaz doimiysi deyiladi. (16) formuladan $PV_\mu = RT$ tengligi kelib chiqadi. Bu ifoda bir kilomol gaz uchun Mendeleev-Klapeyron tenglamasi deb ataladi. XB sistemasida R ni hisoblaymiz.

$$R = \frac{PV_\mu}{T} = \frac{101325 \cdot 0,0224}{273} \cdot \frac{N}{m^2} \cdot \frac{m^3}{mol} \cdot \frac{1}{K} = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \quad (17)$$

(17) formulani ixtiyoriy m massali gaz uchun yozsak:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (18)$$

hosil bo‘ladi. (18) formula eksperimental gaz qonunlarini umumlashtirgan Mendeleev-Klapeyron tenglamasi (ideal gaz holati) dir. Ya‘ni ideal gazning holat tenglamasi deyiladi. (18) formulani gazning zichligi ρ orqali ifodalaymiz:

$$P = \frac{m}{\mu V} RT \quad (18.1)$$

ham Boyle-Mariott va Gey-Lyussak qonunlarining matematik ifodalanishidir.

Nazorat savollari

1. Ideal gaz deb nimaga aytiladi.
2. Gazning bosimi va uning o‘lchov birliklari aytib bering.
3. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini tushuntiring
4. Loshmidt soni qanday aniqlanadi?
5. Gaz qonunlarini ta’riflang.
6. Absolyut temperatura shkalasi nima?

II BOB. MOLEKULALARNING TEZLIKLARI TAQSIMOTI VA BOLTSMAN TAQSIMOTI. IDEAL GAZLARNING ICHKI ENERGIYASI VA ISSIQLIK SIG'IMI

2.1.Mavzu: Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni. Molekulalarning tezliklari bo'yicha Maksvell taqsimoti. Shtern tajribasi. Barometrik formula. Bolstman taqsimoti. Molekulalarning o'rtacha yugurish yo'li.

Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimoti

Molekulalar har xil tezliklar bilan harakatlanadi, shu bilan birga, har bir T temperatura uchun eng katta ehtimoliv tezlikdagi molekulalar mavjud. Bunda gaz molekulalari orasida tezligi ehtimolli tezlikdan juda katta va juda kichik bo'lgan molekulalar ham uchraydi. Molekulalar harakati tartibsiz bo'lgani uchun aniq berilgan v tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalar sonini hisoblash mumkin emas, chunki har bir muayyan paytda bunday molekulalar umuman bo'lmasligi ham mumkin. Biroq tezliklari ma'lum tezliklar intervalida yotuvchi molekulalar sonini hisoblab topish eng asosiy masala hisoblanadi. Bunday masalani ingliz olimi Maksvell o'zining gaz molekulalari tezliklar taqsimoti qonunida asoslab bergan. Maksvell, ehtimollar nazariyasidan foydalanib, tezliklari berilgan biror v tezlikdan $v+\Delta v$ tezlikkacha bo'lgan kichik intervalda yotuvchi molekulalar soni Δn ni hisobladi.

Maksvell qonunini $u = v/v_e$ nisbiy tezlik bilan ifodalash qulay; bunda v - berilgan tezlik v_e - berilgan gaz molekulalari uchun, berilgan temperaturada eng katta ehtimolli tezlik. Maksvell taqsimot qonuniga ko'ra, nisbiy tezliklari $u, u + du$ intervalida yotgan molekulalarning Δn soni quyidagiga teng:

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

Bunda n – tekshirilayotgan gazdagi barcha molekulalarning soni. Maksvellning hisoblashlariga qaraganda eng katta ehtimolli tezlik v_e quyidagiga teng:

$$v_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad (2)$$

Bunda R – gaz doimiysi, $R = kN_A$ va $\mu = mN_A$ bo'lgani uchun (u erda m - gaz molekulasining massasi, k – Bolsman doimiysi) (2) formulani (N_A ni hisobga olgan holda) quyidagicha yozish mumkin.

$$v_e = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (3)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

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

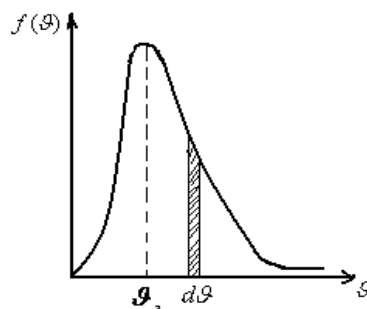
Maksvell bu taqsimotni nazariy yo'l bilan keltirib chiqarishda, gaz bir xil temperaturada, betartib issiqlik harakati holatida bo'lgan ko'p miqdordagi N ta bir xil molekulalardan iborat bo'ladi, deb faraz qildi.

Maksvell taqsimotni keltirib chiqarishda molekulalarning tezlik bo'yicha taqsimot funksiyasidan foydalaniladi. Taqsimot funksiyasi deb quyudagi ko'rinishdagi funksiyaga aytiladi.

$$f(v) = \frac{dn}{ndv}$$

Agar molekulalarning tezliklari diapazonini dv ga teng kichik bo'lakchalarga bo'lsak, har bir tezliklar intervaliga, shu tezliklarga ega bo'lgan molekulalarning qandaydir $dN(v)$ miqdori to'g'ri keladi. Demak, $f(v)$ funksiya tezliklari v dan $v+dv$ gacha intervalda yotadigan molekulalarning nisbiy sonini belgilaydi: $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$

yoki $f(v)dv = \frac{dN}{N}$,



1-rasm

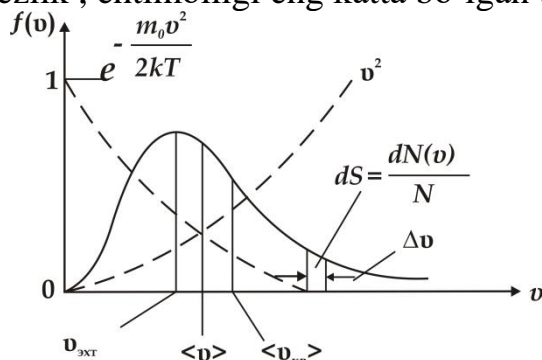
Maksvell, ehtimollik nazariyasi usulini qo'llab, $f(v)$ funksiyaning - ideal gaz molekulalarining tezligi bo'yicha taqsimot qonunini keltirib chiqardi.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} , \quad (4)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, taqsimot funksiyasining aniq ko'rinishi gazning turi (m_0) va T - holat parametriga bog'liq ekan. Taqsimot funksiyasi v tezlik koordinatasiga nisbatan simmetrik emas (3.2 - rasm). Molekulalarning, dv tezlik intervaliga to'g'ri kelgan, $dN(v)/N$ nisbiy miqdori funksiyaning dv bo'lagiga to'g'ri kelgan dS yuzasi bilan aniqlanadi. Taqsimot funksiyasi egri chizig'i ostidagi yuzaga 1 ga teng deb hisoblanadi.

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1 \quad (5)$$

Ideal gaz molekulalarining tezlik bo'yicha taqsimot funksiyasi maksimal qiymatga ega bo'lgan tezlik, ehtimolligi eng katta bo'lgan tezlikni belgilaydi.



2 - rasm.

Ideal gaz molekularining tezlik bo'yicha taqsimoti

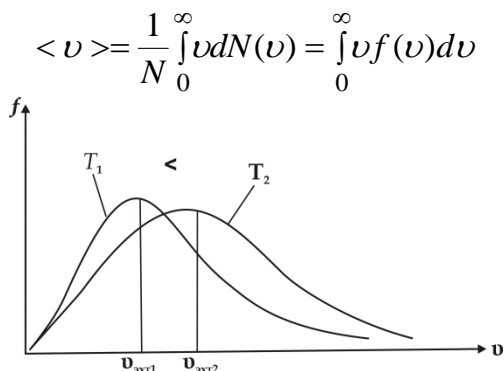
Ehtimolligi katta bo'lgan tezlikni hisoblash uchun (4) ifodani v - tezlik bo'yicha differensiallab, uni nolga tenglashtirish kerak, ya'ni funktsiyaning ekstremumini topish kerak:

$$\frac{d}{dv} \left(v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \right) = 2v \left(1 - \frac{m_0 v^2}{2kT} \right) e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} = 0$$

1) Bu funktsiyaning hosilasi $v = 0$ da nolga teng bo'ladi. Bu ham funktsiyaning ekstremumi, ammo tezlikni nolga teng qiymati mantiqqa ega bo'lmagani uchun uni e'tiborga olmaymiz.

$$2) \quad 1 - \frac{m_0 v^2}{2kT} = 0, \quad v_{ext} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} \quad \text{ya'ni} \quad v_{ext} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}, \quad (6)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, temperatura oshganda taqsimot funktsiyasi maksimumi o'ngga siljiydi, ammo bu holda egri chiziq ostidagi yuza miqdori o'zgarmaydi (3 - rasm). Molekularning o'rtacha tezligi $\langle v \rangle$ quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:



3 – rasm. Taqsimot funktsiyasining temperaturaga bog'liqligi

Bu ifodaga $f(v)$ funktsiyani qo'yish va integrallash natijasida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}, \quad (7)$$

Umuman gaz holatini belgilovchi tezliklar quyidagilardan iborat:

1. Ehtimolligi eng katta tezlik, $v_{ext} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = 1,4 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$,
2. O'rtacha arifmetik tezlik, $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = 1,6 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$
3. O'rtacha kvadratik tezlik, $\langle v_{kg} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = 1,73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$

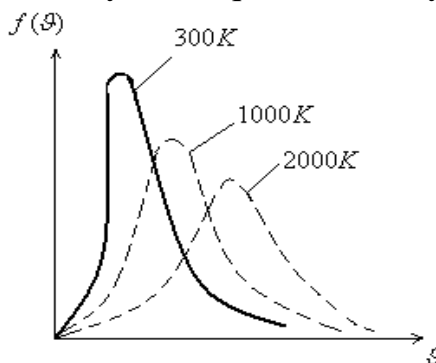
Endi biz molekula tezligining ayni bir vaqtda uch shartni qanoatlantirish ehtimolligini topishimiz mumkin: tezlikning X o'q bo'yicha tashkil etuvchisi v_x dan $v_x + dv_x$ gacha chegaralarda yotadi.

Bu funktsiya $v = 0$ va $v = \infty$ da nolga aylanadi, bunday bo'lishi tabiiy: gaz harakatsiz molekular va tezliklari cheksiz katta bo'lgan molekular yo'q. 1-

rasmdagi egri chiziq tezlikning biror v_e qiymatida taqsimot funksiya maksimumga ega bo'lishi ko'rinib turibdi, ya'ni gaz barcha molekulalarning eng ko'p ulushi v_e ga yaqin tezliklar bilan harakatlanadi.

Shuningdek, gaz molekulalaridan v_e ga yaqin bo'lgan tezliklar boshqalardan ko'proq uchraydi, molekulaning tezligi v_e ga yaqin bo'lish ehtimolligi eng kattadir. Shuning uchun Maksvell taqsimoti egri chizig'ining maksimumi *eng katta ehtimollikli tezlik* deyiladi.

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



4-rasm

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot egri chizig'idan foydalanib, hajm birligidagi gaz molekulalarining tezliklari berilgan $d\vartheta$ tezliklar intervalida bo'lgan $\frac{dn}{n}$ ulushini grafik tarzda aniqlash mumkin. Bu ulush 1-rasmdagi asosi $d\vartheta$ va balandligi $f(\vartheta)$ bo'lgan shtrixlangan polosaning maydoniga teng. Taqsimot egri chizig'i va tekisliklar o'qi orasidagi hamma maydon hajm birligidagi molekulalarning umumiy sonini berishi ravshan. (4) formuladan ko'rinib turganidek, taqsimot egri chizig'ining ko'rinishi gazning tabiati va temperaturasiga bog'liq (formulaga molekulaning massasi m kiradi).

3.3-rasmda azot molekulalarining turli temperaturalarda tezliklar bo'yicha taqsimlanish egri chiziqlari berilgan. Bu egri chiziqlar temperaturaning ortishi bilan molekulalarning tezliklari ortishini, butun egri chiziqning esa katta tezliklar tomoniga siljishini ko'rsatadi. Biroq egri chiziqlar va tezliklar o'qi bilan chegaralangan maydon, albatta o'zgarmaydi. Shu tufayli temperatura ortishi bilan egri chiziqning maksimumi pasayadi.

Maksvell taqsimot funksiyasini chiqarishda molekulalarning o'zaro to'qnashishini xisobga oldi va bunda to'qnashuv natijasida qancha molekula tezligini oshirsa, shunchasi kamaytiradi deb faraz kildi. Bu gazning muvozanat xolatiga mos keladi. Shu sababli Maksvell (ba'zida Maksvell-Bolsman) taqsimoti *muvozanatli taqsimotidir*.

Barometrik formula. Bolsman taqsimoti Gaz molekulalarini tartibsiz harakati tufayli uning zarralari idishning butun hajmi bo'ylab tekis taqsimlanadi. Va har bir hajm birligida o'rtacha bir xil sondagi zarralar bo'ladi. Shuningdek, tashqi kuchlar ta'sir etmaganda muvozanat holatda gazning bosimi va temperaturasi butun hajm bo'yicha birday bo'ladi. Agar tashqi kuchlar ta'sir esa, idishdagi gaz

molekulalarining tabiatini o'zgarishiga olib keladi. Masalan, og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan gaz (havo)ni ko'rib o'taylik.

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

Atmosfera – Yer sharini o'rab olgan havo qobig'i molekulalarning issiqlik harakati va Yerning tortish kuchi tufayli mavjuddir. Shu bilan birga molekulalarning soni balandlik bo'yicha aniq bir xilda bo'lmasligi tasdiqlanadi. Havoning vertikal ustunini ko'raylik. Yer yuzida $x_1 = 0$ da $P_1 = P_0$ bo'lsin, $x_2 = x$ balandlikda $P_2 = P$ bo'lsin. $x + dx$ ga ortganda bosim $P - dP$ ga kamayadi.

Ma'lumki, biror h balandlikdagi havoning bosimi – yuzi bir birlikka teng bo'lgan shunday balandlikdagi vertikal havo ustunining og'irligiga teng bo'ladi

$$P = \frac{mg}{S} = \frac{V \cdot \rho g}{S} = \frac{S \cdot h \rho g}{S} = \rho g h. \quad dx \text{ havo ustunining bosimi}$$

$$dP = -\rho g dx \quad (7.1)$$

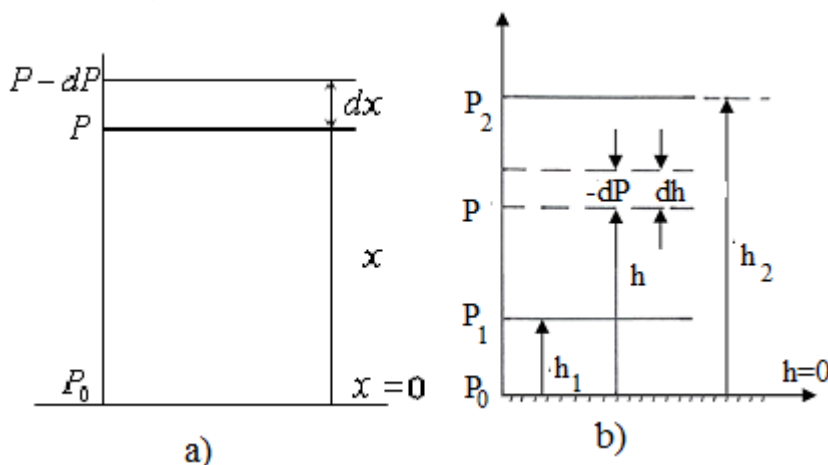
ga teng. Minus ishora x orishi bilan bosimning kamayishini bildiradi.

Atmosfera (yerning havo qobig'i) o'zining hozirgi tarzida ayni bir vaqtda molekulalarning issiqlik harakati va erga tortishish kuchi borligi tufayli mavjuddir. Molekulalarning balandlik bo'yicha taqsimlanishida, gaz bosimini balandlikka bog'liq holda o'zgarish qonuni amal qiladi. Bu qonunni mohiyatini qaraylik. 3.4b-rasmda havoni er sirtidagi $h=0$ bo'lgandagi bosimini P_0 ga, h balandlikda esa P ga teng deylik. Balandlik dh ga ortganda bosim dP ga o'zgaradi. (5-rasm. a)

Aniqroq qilib aytsak, $h=0$ bo'lgandagi bosimini P_0 $h + dh$ balandlikda esa bosim $P - dP$ ga tengdir. $dh > 0$ bo'lganda, $dP < 0$ (3.4b - rasm).

$h, h + dh$ balandlikdagi bosimlar farqi, asosi birlik yuza, balandligi dh ga teng bo'lgan silindr hajmida joylashgan gaz og'irligiga teng bo'ladi:

$$P - (P + dP) = \rho g dh$$



5 – rasm. Gaz bosimining balandlikka bog'liqligi

bu erda:

ρ - h balandlikdagi gazning zichligidir (dh juda kichik bo'lgani uchun, balandlik o'zgaradigan sohada gaz zichligini o'zgarmas, deb hisoblanadi).

Demak,

$$dP = \rho g dh, \quad (8)$$

Ideal gazning holat tenglamasidan $PV = \frac{m}{\mu} RT$ foydalanib, gaz zichligini quyidagicha ifodalaymiz: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}$, bu ifodani (8) – tenglikka qo‘ysak,

$$dP = -\frac{P\mu}{RT} g dh \text{ ga ega bo‘lamiz.}$$

$\frac{dP}{P} = -\frac{\mu}{RT} g dh$. Bu tenglikni P_1 dan P_2 gacha va h_1 dan h_2 gacha sohalar bo‘yicha integrallasak, quyidagi ifodani keltirib chiqamiz.

$$P_2 = P_1 e^{\frac{-\mu g (h_2 - h_1)}{RT}}, \quad (9)$$

va bundan $\Delta h = \frac{RT}{\mu g} \ln \frac{P_1}{P_2}$ ga teng ekanligini aniqlaymiz. (9) – ifoda

barometrik formula deb ataladi. Ushbu (9) formula atmosfera bosimini balandlikka bog‘liqligini ifodalaydi.

Balandlik h doimo dengiz sathiga nisbatan olinishini eslasak, dengiz sathida bosimni normal atmosfera bosimi deb hisoblaymiz. U holda (9) - ifodani quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$P = P_0 e^{\frac{-\mu g h}{RT}}, \quad (10)$$

$P = nkT$ bo‘lishni e‘tiborga olsak, gazning konsentratsiyasini balandlikka bog‘liq ifodasini keltirib chiqarishimiz mumkin: $n = n_0 e^{\frac{-\mu g h}{RT}}$ Bu erda R – gaz doimiysi, $R = kN_A$ va $\mu = mN_A$ tengliklardan foydalanib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$n = n_0 e^{\frac{-m_0 g h}{kT}} \quad (11)$$

$m_0 g h = E_p$ molekulaning gravitatsiyaviy tortishish maydonidagi potensial energiyasidir. Shuni hisobga olgan holda (3.11) ni quyidagicha yozamiz.

$$n = n_0 e^{\frac{-E_p}{kT}}, \quad (12)$$

bu ifoda tashqi potensial maydonidagi **Bolsman taqsimoti** deb ataladi.

Bolsman taqsimoti istalgan tashqi potensial maydon uchun ham o‘rinlidir. Bu erda tashqi potensial maydon faqat tortishish kuchi ta‘sirini emas, balki boshqa kuchlar ta‘sirini (elektr, yadro va boshqa potensial maydonlarni) inobatga oladi.

Molekulalar tezligini o‘lchash. Shtern tajribasi

Maksvell tezliklar taqsimot qonunining to‘g‘riligi tajribada bir necha bor tasdiqlangan. 1920 yilda nemis fizigi Otto Shtern (1888-1969) birinchi bo‘lib, gaz molekulalarining harakat tezligini bevosita tajribada aniqladi.

Qurilma ikkita koaksiyal silindrdan iborat bo‘lib uning ko‘rinishi 6-rasmda keltirilgan. Qurilmaning o‘qi bo‘ylab kumush bilan qoplangan platina ip tortib

qo'yilgan. Platina sim orqali elektr toki o'tkazilganda, uning qizishi natijasida kumush atomlari sim yuzasidan bug'langan.

Agar qurilma o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylantirilsa, unda bug'langan kumush atomlarining qoldirgan izi ma'lum miqdorda l masofaga siljiydi, chunki atomlar silindrlar orasidagi bo'shliqdan uchib o'tish vaqtida qurilma ma'lum $\Delta\varphi$ burchakka burilishga muvaffaq bo'ladi. Silindrning ichki devorida kumush atomlari qoldirgan iziga mos keladigan Δl masofa, $\Delta\varphi$ burchak (6b-rasm), va silindrlarning aylanish $\omega = 2\pi\nu$ chastotasidan foydalanib, kumush atomlarining tezligini aniqlash mumkin. Bunda kumush izi yo'lakchasi uzunligi

$$l = R\Delta\varphi \quad (13)$$

ga teng.

Silindrlarning burilish burchak esa $\Delta\varphi$ teng bo'ladi:

$$\Delta\varphi = \omega t \quad (14)$$

Bu erda t kumush atomlarini uchish vaqti, Bu vaqtni quyidagi ifodadan topamiz.

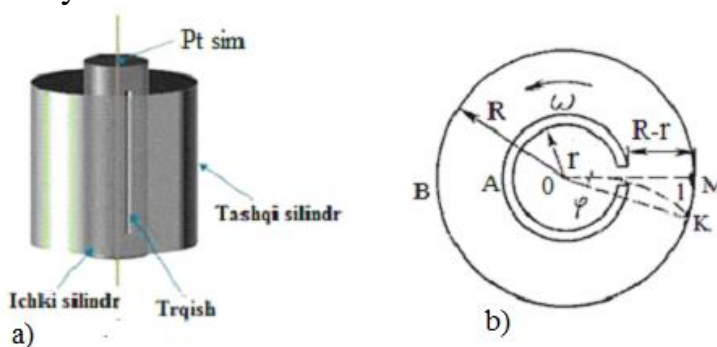
$$t = \frac{R-r}{v} \quad (15)$$

Demak, (3.13) (3.14) va (3.15) ifodalardan foydalanib kumush atomlarini harakat tezligini topish mumkin.

$$v = \frac{R(R-r)\omega}{\Delta l} = \frac{(R-r)2\pi\nu}{\Delta\varphi} \quad (16)$$

Silindrlarning aylanishi natijasida hosil bo'lgan kumush izi yoyilgan bo'lib l masofaga siljiydi. Bu simdan bug'langan kumush atomlari turli xil tezlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Bunday o'lchovlardan topilgan kumush atomlarining harakat tezligining qiymatlari molekulyar kinetik nazariya asosida olingan qiymatlarga to'g'ri keldi. Bu tasodif gazlarning molekulyar kinetik nazariyasi to'g'riligini tasdiqlovchi eng muhim to'g'ridan-to'g'ri dalillardan biridir.

Shtern tajribasi – gaz molekularining issiqlik harakati tezliklari bo'yicha taqsimlanishni isbotlaydi.



3.6 – rasm. a) qurilmaning tashqi ko'rinishi, b) ko'ngdalang sxemasi

Shtern o'z tajribasida, tirqishli A silindrning o'qi bo'ylab tortilgan, kumush bilan qoplangan plastinali simni oladi (6 - rasm). Plastinali simdan tok o'tganda yuqori temperaturagacha qizib, kumush atomlarini bug'lantiradi. Simdan uchib chiqayotgan kumush atomlari asosan A silindrning ichki sirtida ushlanib qoladi. Faqat bu sirdagi perpendikulyar tirqishga to'g'ri keluvchi atomlarga undan

chiqib, B silindr sirtining M nuqtasida yoyilib, l qatlam hosil qiladi. Bu qatlamning ko'ndalang kesimi 3.6b - rasmda ko'rsatilgan. Ushbu qatlam qancha ingichga bo'lsa, molekulalar harakat tezliklarini shuncha aniq o'lchash mumkin.

Butun qurilma 0 o'q atrofida ω burchak tezlik bilan aylanma harakatga keltirilganda, kumush bug'larining izi B silindr sirtining K nuqtasi atrofida hosil bo'ladi, chunki t vaqt ichida kumush atomlari R – masofani bosib o'tguncha silindr sirtining nuqtalari $l = R\Delta\varphi = KM$ masofaga siljishga ulguradi.

Nazorat savollari

1. Ehtimolli tezlik nima?
2. Barmetrik formula deb nimaga aytiladi?
3. Maksvell tezliklar taqsimot qonunini tushuntiring
4. Bolsman taqsimotining mazmun-mohiyatini aytng.
5. Gaz molekulalarning tezlikari qnday aniqlanadi?
6. Shtern tajribasini tushuntiring

2.2. Mavzu: Ideal gaz ichki energiyasi. Issiqlik miqdori. Issiqlikning mexanik ekvivalenti. Ideal gazning issiqlik sig'imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi. Gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi. va molekulalarning erkinlik darajasi.

XIX asrning o'rtalarigacha issiqlik hodisalarini o'rganishda XVII asrning boshlarida paydo bo'lgan *teplorod* nazariyasi hukmronlik qildi. Bu nazariyaga asosan issiqlik – bu vaznsiz, ko'zga ko'rinmas suyuqlik – teploroddan iborat deb qaralgan, uning oshishi jism haroratini ko'tarilishiga olib kelsa, 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.V. Lomonosov qarshi chiqib, **issiqlikning mexanik nazariyasini** taklif etdi. Issiqlikning mexanik nazariyasiga asosan, issiqlik hodisalari molekulalar harakati hisobiga yuzaga keladi. Hattoki, termodinamikaning asoschilaridan biri bo'lgan S. Karno ham teplorod nazariyasidan foydalangan. Teplorod nazariyasini rad etish uchun uni isbotlash zarur edi, chunki issiqlik ish bajarilishi natijasida yuzaga keladi.

1798-yilda Rumford tajriba o'tkazib, issiqlikning mexanik nazariyasini etarlicha 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 ishqalanganida 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 issqlik va ish orasidagi miqdoriy bog'lanish – issiqlikning mexanik ekvivalenti yaratildi.

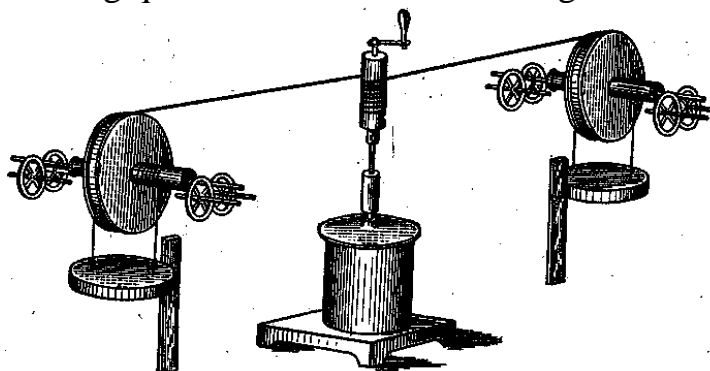
Taxminan ikki asr davomida issiqlikning tabiati haqida ikki hil fikr hukm surib keldi. Birinchi gipotezaga ko'ra jism qizdirilganda u issiqlik oladi, sovitilganda esa issiqlik beradi, ya'ni qizigan jism shu jism moddasi bilan issiqlik aralashmasidan iborat. Boshqacha aytganda, issiqlik ham modda. U istalgan jismga kira oladi va undan chiqqa oladi. Bu fikrni 1613 yilda ilgari surgan Italiya astronomi va fizigi Gallileo Galiley (1564- 1642) issiqlik moddasiga flogiston, ya'ni teplorod deb nom berdi. Uning fikriga ko'ra flogiston jismlar orasida turlicha taqsimlanadi. Jismda u qancha ko'p bo'lsa jism harorati shuncha yuqori bo'ladi.

Ikkinchi gipotezani 1620 yilda ingliz filosofi R. Bekon ilgari surdi. U bolg'a bilan urilganda temir parchasining qizishiga va jismlar bir-biriga ishqalanganda uchqun hosil bo'lishiga asoslanib, issiqlik jismdagi nihoyatda mayda zarrachalarning ichki harakatidan iborat va jism harorati undagi zarrachalarning harakat tezligi bilan aniqlanadi, degan xulosaga keldi. Bu nazariya fanda issiqlikning mexanik nazariyasi degan nom oldi. Uni asoslash va rivojlantirishga rus olimi M.V.Lomonosov katta hissa qo'shdi.

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. Nemis olimi (asli kasbi shifokor), 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, R. Mayer ish va issiqlikning o'zaro almashinuvi va ekvivalentligi to'grisidagi xulosaga keldi. Nazariy tavsifga ega bo'lgan Mayerning ishlari zamondoshlari uchun tushunarsiz edi. Doimiy bosim va doimiy hajmda gazlar issiqlik sig'imlari orasidagi bog'lanishni beruvchi R. Mayer tenglamalari issiqlikning mexanik ekvivalenti uchun deyarli aniq qiymatlarni beradi, ya'ni 36,7 kg·m/kkall (aniq qiymati 427 kg·m/kkall).

Aniq tajriba 1848-yilda Dj. Joule tomonidan o'tkazilgan. Joule suvli kalorimetrda tushayotgan yukni aylantirib, sarflangan ish va ajralgan issiqlikni hisobladi va bu tajriba issiqlikning mexanik ekvivalentini hisoblashga imkon yaratdi. Joule tajribasining qurilmasi 4.1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Joule tajribasi qurilmasi.

Issiqlik miqdori. Agar temperaturalari har xil bo'lgan jismlarni bir-biriga tegizsak, bir jism soviydi, ikkinchisi isiydi: agar ular "kontaktda" bo'lsa, ular

orasidagi issiqlik almashinuvi a) issiqlik o'tkazuvchanlik bilan; b) agar ular bir-biridan "bo'shliq" bilan ajralib turgan bo'lsa, nurlanish yo'li bilan; v) konveksiya – jismlar orasidagi muhit zarralari orqali amalga oshadi.

Issiqlik miqdori deb issiqlik almashinish jarayonida jismlarning olgan yoki bergan energiyasiga aytiladi.

Teplorod nazariyasida issiqlik miqdorining o'lchov birligi sifatida 1kaloriya (kal) qabul qilingan. 1kaloriya – bir kub santimetr hajmdagi toza suv haroratini bir 1°S . ga ($19,5^{\circ}\text{S}$. dan $20,5^{\circ}\text{S}$ gacha) ko'tarish uchun berilgan issiqlik miqdori qabul qilingan.

Agar temperaturaning o'zgarishi ish bajarishi hisobiga bo'lsa, unda ishning o'zi ichki energiyaning o'zgarishiga teng edi, ya'ni $A = \Delta U$.

Agar issiqlik almashinish (kontakt, konveksiya yoki nurlanish) orqali issiqlik uzatilsa, ish bajarilmaydi. Bu holda ichki energiya moddaning tezligi katta bo'lgan molekullari, tezligi kam bo'lgan molekullariga to'qnashishi natijasida o'zini energiyasini bir qismini beradi. Bunday jarayon *issiqlik uzatish* jarayoni deyiladi. Aniq qilib aytganda, bir-biriga tegib turgan jismlarning molekullarini ish bajarmasdan ichki energiya almashishi jarayoniga *issiqlik uzatilish* deyiladi. Demak, yuqorida ta'kidlanganidek, *issiqlik miqdori* – bir jismning ikkinchi jismga bevosita tekkanida yoki nurlanish yo'li bilan uzatiladigan energiyadir.

Issiqlikning mexanik ekvivalenti

Issiqlik miqdori bilan ish (energiya) orasida energiya nuqtai nazaridan hech qanday farq yo'q. Shuning uchun ular bir xil birliklarda o'lchanadi. XBT da issiqlik miqdori birligi qilib $[Q] = 1J$ deb qabul qilingan. Tarixan *kal* va *kcal* (*kaloriya*) birliklari asosiy birliklar sistemasiga kirmasada, amaliyotda keng ishlatilib kelinadi.

19 - asrning 50-yillaridayoq issiqlik bilan ish orasidagi ekvivalentni Joul aniqladi: $1 \text{ kal} = 4,1868 \text{ J} \approx 4,2 \text{ J}$ (4.1-rasmga qarang). Mexanikaviy ish birligining issiqlik birligiga nisbati ifodalovchi son issiqlikning mexanikaviy ekvivalent deyiladi va J bilan belgilanadi. $J = 4186,8 \text{ j/kcal} = 4,19 \text{ j/kal}$.

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.

Ideal gazning ichki energiyasi

Real gazning molekullari bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashadi, shuning uchun potensial energiyaga ega. Binobarin, real gazning ichki energiyasi molekullar issiqlik harakatining kinetik energiyasi bilan o'zaro ta'sir potensial energiyalarining yig'indisiga teng:

$$U = W_k + W_p \quad (1)$$

Molekulalarning oʻzaro taʼsir potensial energiyasi molekulalar orasidagi masofaga demak, gaz egallagan hajmga bogʻliq boʻladi. Shuning uchun real gazlar ichki energiyasi faqat haroratgagina emas, balki gaz egallagan hajmga ham bogʻliq boʻladi.

Real gaz molekulalari ilgarilama harakatdan tashqari, aylanma va tebranma harakat qilishi mumkin. Shunday qilib, real gazning ichki energiyasi uning haroratiga, hajmiga va molekulalar strukturasi bogʻliq boʻladi.

Gazlar molekulyar-kinetik nazariyasiga asosan-gaz molekulalari uzluksiz va tartibsiz harakatlanib turadi. Bunda molekula ilgarilama harakatining T -temperaturadagi oʻrtacha kinetik energiyasi:

$$E_k = \frac{3R}{2N}T = \frac{3}{2}kT \quad (2)$$

teng boʻladi. Bu erda $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{K \cdot kmol}$ universal gaz doimiysi,

$N_A = 6,02 \cdot 10^{26} kmol^{-1}$ - Avagadro soni. Bundan $k = \frac{R}{N} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ Bolsman doimiysi

kelib chiqadi. Demak, gaz molekulalari ilgarilama harakatining oʻrtacha kinetik energiyasi faqatgina gazning temperaturasi T bilan aniqlanadi. Gaz isitilganda yoki sovutilganda, unga biror miqdorda issiqlik berilganda yoki undan olinganda, gaz molekulalarining harakat energiyasi oʻzgaradi.

Ideal gazning ichki energiyasi barcha molekulalarining tartibsiz harakati kinetik energiyasi bilan belgilanadi. Biz keyinchalik real gazlar uchun molekulalarning oʻzaro taʼsir potensial energiyasini ham hisobga olish zarurligini koʻramiz. Real gazlarning ichki energiyasi molekulalarning kinetik energiyasi bilan ularning potensial energiyasining yigʻindisiga teng boʻladi. Molekulalarning harakat kinetik energiyasi, umuman aytganda, ularning ilgarilama harakat kinetik energiyalaridagina iborat emas. U molekulalarning aylanishi va tebranish kinetik energiyalarining yigʻindisidan iborat boʻlishi ham mumkin. Molekulalarning barcha tur harakatlariga toʻgʻri keladigan energiyani hisoblash uchun erkinlik darajasi tushunchasini kiritiladi. Issiqlik bilan ish (energiya) orasida oʻzaro bogʻlanish mavjud.

Ideal gazlarning issiqlik sigʻimi

Ichki energiya tushunchasidan foydalanib gazlarning issiqlik sigʻimi tushunchasini oydinlashtiraylik.

Biror modda birlik massasini haroratini $\Delta t = 1^{\circ}C$ ga oshirish uchun kerak boʻladigan issiqlik miqdoriga son jihatdan teng boʻlgan fizik kattalikka solishtirma issiqlik sigʻimi deyiladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} \quad (3)$$

Gazlarning molyar issiqlik sigʻimi deb, uning bir molini temperaturasini $\Delta t = 1^{\circ}C$ ga oshirish uchun kerak boʻlgan issiqlik miqdoriga aytiladi.

Gazlarning issiqlik sigʻimi ularni qanday sharoitda qizdirilishiga bogʻliq boʻladi. Gaz oʻzgarmas hajmda qizdirilganda gazga berilgan barcha issiqlik uning ichki energiyasini oshirishga sarflanadi. Oʻzgarmas bosimda isitilganda esa gazni kengayish ishi uchun yana qoʻshimcha issiqlik miqdori kerak boʻladi. Shuning uchun gazning issiqlik sigʻimi ikki xil: yaʼni oʻzgarmas hajmdagi ($V = const$) va

o'zgarmas bosimdagi ($p = const$) issiqlik sig'imilari C_v va C_p lar bir-biridan farqlanadi. Bu issiqlik sig'imlari bilan tanishamiz.

Gazning o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi. o'zgarmas hajmdagi ($V = const$) 1 mol gazni 1°C ga qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori o'zgarmas hajmdagi ($V = const$) molyar issiqlik sig'imi deyiladi. Bu holda hamma issiqlik gazni ichki energiyasini orttirishga ketadi. Demak gazni $V = const$ dagi molyar issiqlik sig'imi quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_v = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{i/2R\Delta T}{\Delta T} = \frac{i}{2}R \quad (4)$$

Gazning o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi. o'zgarmas bosimdagi ($p = const$) 1 mol gazni 1°C ga qizdirish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori o'zgarmas bosimdagi ($p = const$) molyar issiqlik sig'imi deyiladi. Bu holda 1 mol gazni qizdirish uchun gazni kengayish ishi A ga teng bo'lgan qo'shimcha issiqlik miqdori sarflanadi.

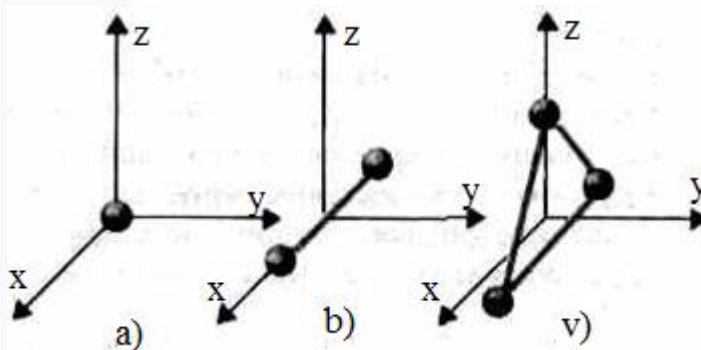
Nazorat savollari

1. Gaz hajmini o'zgarishida bajarilgan ish mohiyatini tushuntirib bering.
2. Ideal gazni ichki energiyasi nimaga teng?
3. Adiabatik jarayonni qanday tushunasiz.
4. Issiqlik sig'imi tushunchasi nima maqsadda kiritilgan.
5. Ideal gazning issiqlik sig'imi qanday fizik kattaliklarga bog'liq.
6. Ideal gazlar issiqlik sig'imlarining tajriba natijalaridan chetlashishining mohiyati nimada?

III BOB. TERMODINAMIKANING ASOSIY QONUNLARI. ISSIQLIK MASHINALARI VA ENTROPIYA.

3.1. Mavzu: Termodinamikaning birinchi qonuni. Ideal gazning bajargan ishi. Izotermik, izobarik va adiabatik jarayonlarda bajarilgan ish. Politropik jarayon.

Ma'lumki gaz molekularining energiyasi ularning erkinlik darajasi soniga bog'liq bo'ladi. Aniqroq qilib aytganda nuqta yoki tizimning erkinlik darajalari soni bu - tizimning fazodagi o'rnini to'liq aniqlaydigan mustaqil o'zgaruvchilar (koordinatalar) soni hisoblanadi. Bir qator masalalarda bir atomli gaz molekulasini (1-rasm, a) moddiy nuqta sifatida qaraladi, ushbu gaz molekularining erkinlik darajasi uchga teng bo'ladi. Bunda molekular aylanma harakat energiyasini hisobga olmaslik mumkin.



1-rasm

Klassik mexanikada birinchi yaqinlashishda ikki atomli gaz molekulari deformatsiyalanmaydigan, o'zaro qattiq bog'langan ikkita moddiy nuqtalar to'plami sifatida qaraladi. (1b-rasm). Ushbu tizim uchta erkinlik darajasiga ega bo'lgan molekularning ilgariylanma harakatidan tashqari yana qo'shimcha ikkita aylanma harakati uchun erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Shunday qilib, ikki atomli gaz beshta erkinlik darajasiga ega ($i=5$). Uch atomli (1.v-rasm) va ko'p atomli chiziqli bo'lmagan molekular oltita erkinlik darajasiga egabo'ladi: uchta ilgariylanma va ikkita aylanma harakat uchun.

Tabiiyki, atomlar o'rtasida qattiq bog'liqlik yo'q. Shuning uchun, real modda molekulari uchun tebranma harakatining erkinlik darajalarini ham hisobga olish kerak. Molekularning umumiy erkinlik darajalari sonidan qat'iy nazar, ilgariylanma harakatda molekular erkinlik darajasi soni doimo uchta bo'ladi. Ilgariylanma harakatda erkinlik darajalarining hech biri boshqalardan ustunlikka ega emas, shuning uchun ularning har biriga o'rtacha bir xil energiya qiymatining 1/3 qismi to'g'ri keladi. Ya'ni

$$\bar{\varepsilon}_1 = \frac{\bar{\varepsilon}_0}{3} = \frac{1}{2}kT \quad (1)$$

Klassik statistik fizikada termodinamik muvozanat holatida bo'lgan statistik tizim uchun molekularning erkinlik darajalari bo'yicha energiyaning tekis taqsimlanishi haqida Boltsman qonuni chiqariladi: bunda har bir ilgariylanma va aylanma erkinlik darajasi uchun o'rtacha kinetik energiya $kT/2$ teng bo'ladi va har bir tebranma erkinlik darajasi uchun - o'rtacha energiya kT ga teng.

Tebranma harakat uchun erkinlik darajasi ikki baravar ko‘p energiyaga ega, chunki u nafaqat kinetik energiyani (ilgarlanma va aylanma harakatlarida bo‘lgani kabi), balki potentsial energiyani ham o‘z ichiga oladi va kinetik va potentsial energiyalarning o‘rtacha qiymatlari bir xil. Shunday qilib, molekulaning o‘rtacha energiyasi bu erda i ilgarlanma aylanma va molekulaning ikki marta tebranma erkinlik darajalari soni yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$i = i_{ig} + i_{ayl} + 2i_{teb}, \quad \bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT \quad (2)$$

Klassik nazariyada atomlari o‘zaro qattiq bog‘langan molekularlar tizimini ko‘rib chiqiladi; ular uchun i molekulaning erkinlik darajalari soniga to‘g‘ri keladi. Ideal gazda molekularning o‘zaro potentsial energiyasi nolga teng bo‘lganligi sababli (molekularlar bir-biri bilan o‘zaro ta’sir qilmaydi), bir mol gazning ichki energiyasi Avagadro soniga teng N_A molekularning kinetik energiyalari yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$U = \frac{i}{2}kTN_A = \frac{i}{2}RT \quad (3)$$

Gazning ixtiyoriy massasi m uchun ichki energiyasi esa quyidagiga teng bo‘ladi

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT \quad (4)$$

bu erda μ - molyar massa.

Mexanik energiyasi o‘zgaras va faqat ichki energiyasi o‘zgaradigan termodinamik tizimni ko‘rib chiqaylik. Tizimning ichki energiyasi turli jarayonlar natijasida o‘zgarishi mumkin, masalan, tizim (gaz)ga issiqlik berish, va tizim tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishi mumkin. Shundek, silindr ichida turgan gazni porshen yordamida siqib uning harorati oshishi natijasida, gazning ichki energiyasini o‘zgartirishimiz mumkin. Boshqa tomondan, gazning harorati va uning ichki energiyasini unga ma’lum miqdorda issiqlik berish – ya’ni issiqlik almashinuvi tufayli tashqi jismlar tomonidan tizimga uzatiladigan energiyani berish orqali oshirish mumkin (turli haroratli jismlar kontaktga keltirilganda ichki energiya almashinuvi jarayoni). har xil haroratlarda). Shunday qilib, energiyani bir jismdan ikkinchisiga uzatishning ikki xil shakli haqida gapirish mumkin: ish bajarish va issiqlik. Mexanik harakat energiyasini issiqlik harakati energiyasiga aylantirish mumkin va aksincha.

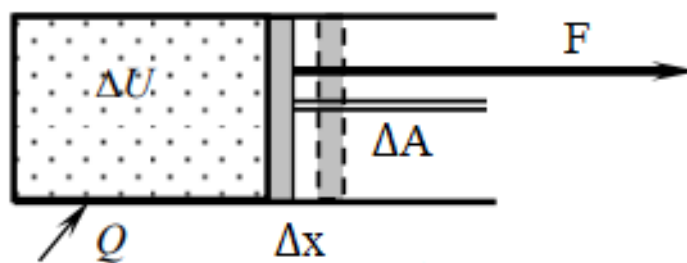
Bu aylanishlar natijasida energiyaning saqlanish va o‘zgarishi qonuni kuzatiladi; termodinamik jarayonlarga nisbatan qo‘llanilgan bu qonun ko‘p asrlar davomida to‘plangan tajriba natijalari va ma’lumotlarini umumlashtirish natijasida termodinamikaning birinchi qonuni yaratilgan.

Faraz qilaylik, ma’lum bir tizim (masalan, silindrda porshen ostida gaz turgan bo‘lsin) uning ichki energiyasi U_1 bo‘lsa, porshenni siqib, tashqi kuchlarga qarshi A ish bajarilganda gaz ma’lum miqdorda Q issiqlik oladi va uning ichki energiyasi U_2 bo‘lgan yangi holatga o‘tadi. Q issiqlik miqdori tizimga berilganda musbat bo‘ladi. Agar gaz (tizim) tashqi kuchlarga qarshi ish bajarganda ish musbat

hisoblanadi. Tizim tomonidan olingan Q issiqlik miqdori tizim(gaz)ning tashqi kuchlarga qarshi bajargan A ishiga va tizim ichki energiyasining o'zgarishiga teng bo'ladi. Yani

$$Q = \Delta U + A \quad (5)$$

Tizimning ichki energiyasini o'zgarishi asosan ikki jarayonda sodir bo'ladi: 1) Ish bajarish natijasida 2) Issiqlik almashinish natijasida. Bu jarayonlarni silindrda porshen ostida turgan gaz holati misolida ko'raylik. (5.2-rasm).



2-rasm

Porshen ichidagi gaz kengayganda porshen $d\ell$ masofaga siljiydi va dA ish bajaradi,

$$\Delta A = F \Delta x \quad (6)$$

bu erda F – gaz kengayganda porshen yuzasiga ta'sir etadigan kuch. Gaz S – porshen yuzasiga beradigan bosimini P – desak, u holda quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi.

$$F = P \cdot S \quad (7)$$

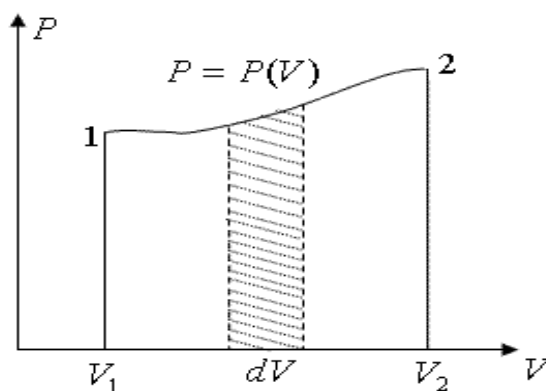
(7) formulani (6)ga qo'ysak, gazning bajargan elementar ishini topamiz

$$\Delta A = PS\Delta x \quad (8)$$

bunda $S\Delta x = \Delta V$ ga teng. U holda (5.8) formula quyudagi ko'rinishga keladi.

$$\Delta A = P\Delta V \quad (9)$$

Agar gaz kengayish jarayonida ΔA ish bajarsa, $\Delta V > 0$ bo'lib, musbat ish bajariladi. Porshen gazni siqib ΔA ish bajarsa $\Delta V < 0$ bo'lib, manfiy ish bajariladi. Boshqacha aytganda bu holda atrof muhit ta'sirida (ya'ni porshen harakati ta'sirida) ish bajariladi. Agar gaz hajmi o'zgarmas $\Delta V = 0$, ya'ni izoxorik jarayonida u ish bajarmaydi $\Delta A = 0$ bo'ladi.



3- rasm

Gaz 1-2 egri chiziq bo'yicha PV koordinatalarda hajmi kengaygan bo'lsin. Gazning hajmi dV ga kengayganda $dA = PdV$ ish bajariladi. Bu ish sxemada dV

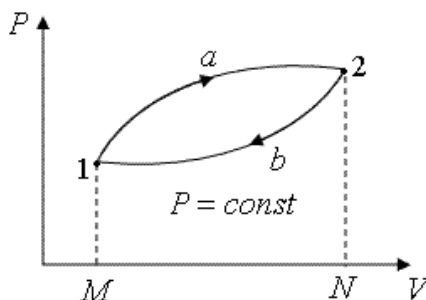
kichkina shtrixlangan zonaga mos keladi. Demak umumiy holda gaz kengayishi V_1 dan V_2 gacha kengayishiga bajarilgan ish

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (10)$$

tenglama yordamida aniqlanadi. Agar gaz bosim o'zgarmas ($p = const$) bo'lgan izobarik jarayonda ish bajaradigan bo'lsa unda bajariladigan ish

$$A_{12} = P(V_2 - V_1) \quad (11)$$

formula bilan aniqlanadi. Bu jarayonda bajarilgan ish grafik holda 3-rasmda ko'rsatilganidek ifodalanadi.



4-rasm

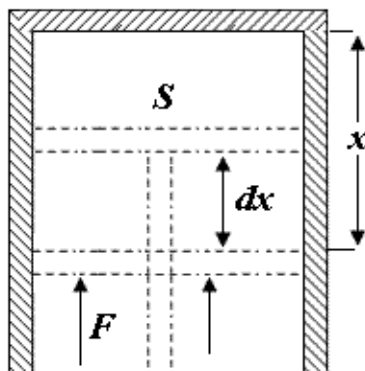
Bu holda (gaz kengayganda) bajarilgan ish $1a2NM$ yo'nalishda yuzaga teng musbat ish bo'ladi. gaz $2b1MN$ yo'nalishda siqilib ($dV < 0$) ish bajaridagin bo'lsa, ish manfiy bo'ladi. Gazning bajargan to'la ishi $S = S_1 - S_2 = (1a2NM - 2b1MN)$ larni ayirma yuzasi S ga teng bo'ladi. Ya'ni $S = S_1 - S_2 = 1a2NM - 2b1MN = 1a2b1$ ga teng bo'ladi. Hamda aylanma qaytar jarayonda bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi.

$$\oint dA \neq 0 \quad (12)$$

Bu holda nolga teng bo'lmaydi.

Fizikaning taraqqiyot tarixidan ma'lumki, jism temperaturasining o'zgarishi, "Kontakt" yo'li bilan, konveksiya yoki nurlanish bilan amalga oshirilganda jasmga biror issiqlik miqdori beriladi yoki undan biror issiqlik miqdori olinadi.

Termodinamikaning I qonuni Har qanday jism yoki sistemasining holat o'zgarishi (bu sistemani ish bajarishi yoki tashqi kuchlar bu sistema ustidan ish bajarishi bilan belgilanadi. Bizga ma'lumki jismlarning (gazning) holati P , V , T parametrlar bilan xarakterlanadi.



5-rasm.

Bu parametrlarning ixtiyoriy birining o'zgarishida tashqi ish bajarilishi kerak. Masalan, gaz temperaturasi o'zgarishi ya'ni uning isitish yoki sovutishi tashqaridan bajarilgan ish hisobiga amalga oshishi mumkin.

Faraz qilaylik, gaz silindrda porsheni ostida bo'lsin. Tashqi kuch ta'sirida gaz siqilsa, u isiydi yoki hajmi kengaysa, gaz soviydi. Ammo gazning hajmini uning temperaturasini o'zgarimasdan turib ham o'zgartirish mumkin.(5.4-rasm).

Agar gazga (yoki jismga) biror dQ issiqlik miqdorini berilsa dastlab jismning dU (ichki energiyasi o'zgaradi va dA ish bajaradi. Sistemaning bajargan ishi sistemaga berilgan issiqlik miqdori bilan ichki energiyasining o'zgarishi orasidagi farqiga teng:

$$dA = dQ - dU \quad \text{yoki} \quad dQ = dU + dA \quad (13)$$

Bu ifodalar termodinamikaning birinchi qonunining matematik ifodalanishidir. Demak jismga berilgan issiqlik miqdori, shu jismning ichki energiyasini o'zgarishiga va ish bajarishiga sarf bo'lar ekan. Porshen dx masofaga siljib gazni siqdi deylik(5-rasm), bu holda bajarilgan ish $dA = Fdx = PSdx$ ga teng bo'ladi. bunda $Sdx = dV$ tengligini e'tiborga olsak $Sdx = -dV$ yoki bundan

$$dA = -pdV \quad (14)$$

tengligi kelib chiqadi. Aksincha gaz kengayganda uning xajmi dV ortganida tashqi kuchlarga qarshi PdV musbat ish bajaradi.

$$dA = PdV \quad (15)$$

(15) \rightarrow (13) qo'yamiz. U holda

$$dQ = dU + PdV \quad (16)$$

tenglik hosil bo'ladi. PV koordinatada bu jarayonni grafik ko'rinishida ifodalaymiz. $dA = -PdV$ ifodani 1,2 yo'l bo'yicha integrallaymiz:

$$A = \int_1^2 dA = \int_1^2 PdV \quad (17)$$

Termodinamikaning I-qonuni odatda energiyaning saqlanish qonuni bo'lib ochilishi tarixiy jihatdan, biror ko'rinishdagi energiyani sarflamay tashqaridan issiqlik olmay ish bajara oladigan mashinani qurish yo'ldagi urinishlarning oqibatsiz bo'lib chiqishi bilan bog'liq edi. Bunday mashina termodinamikada birinchi tur perpetuum mobile deb ataladi.

Termodinamikaning birinchi bosh qonuni shunga asosan qo'yidagicha ta'riflash mumkin: birinchi tur perperuum mobileni, ya'ni bir sikl davomida tashqaridan olingan energiya miqdoriga qaraganda ko'proq miqdorda ish bajaradigan davriy harakat qiluvchi mashinani qurib bo'lmaydi.

Uzatilgan issiqlik bilan ish orasidagi ekvivalentlikning prinsipial va nazariy mohiyati Robert Mayer (1814-1878), V.Tomson (1824-1907), Klauzius (1822-1888) va bir qator boshqa fiziklar tomonidan aniqlangan.

Termodinamikaning birinchi qonunini izojarayonlarga tadbiri

Dastlab termodinamikaning birinchi qonunini izotermik jarayonga tadbiri ko'raylik. Izotermik jarayonda harorat doimiy ya'ni $T = const$ bo'ladi. Ushbu jarayonda $\Delta U = 0$ bo'lganligi uchun sistemaga berilgan issiqlik miqorining hammasi ish bajarishga sarf bo'ladi. $Q = A$. Izotermik jarayonda bajarilgan ish miqdorini keltirib chiqaraylik.

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (18)$$

Gaz p bosimini gaz holat tenglamasidan $P = \frac{RT}{V}$ ifodasini (18) ifodaga qo'yib, ushbu jarayonda bajarilgan ishni topish mumkin. Ya'ni $A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT(\ln V_2 - \ln V_1)$, yoki ixtiyoriy m - massali gaz uchun quyidagi formulani olamiz.

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (19)$$

Izobarik jarayonda bajarilgan ish Ushbu jarayonda bajarilgan ishni biz yuqorida keltirib chiqargan edik. (5.10) formulaga qarang. Demak, gaz hajmining izobarik ($P = \text{const}$) o'zgarishida bajarilgan ish quyidagicha hisoblanadi:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1) \quad (20)$$

Ma'lumki izoxorik jarayonda ish bajarilmaydi, chunki $\Delta V = 0$ bo'lgani uchun $A = 0$ bo'ladi.

Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish. Sistema bilan atrof muhit o'rtasida issiqlik almashinuvsiz bo'ladigan jarayonlar adiabatik jarayonlar deyiladi. Bu holda $dQ = 0$ va termodinamika birinchi bosh qonunining formulasi shunday ko'rinishga keladi:

$$dA = -dU \quad (21)$$

Minus ishorasi sistema (gaz)ning adiabatik kengayishda uning ichki energiyasi kamayishini ko'rsatadi; bunda sistema o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Adiabatik siqish holida sistemaning ichki energiyasi tashqi kuchlar bajargan ish hisobiga ortadi. Shuning uchun dU musbat bo'ladi, biroq dA manfiy qiymat qabul qiladi.

Devorlari va porsheni mutlaqo issiqlik o'tkazmaydigan idishlarga qamalgan bir mol ideal gazdan iborat sistemadagi adiabatik jarayonni ko'raylik. Ma'lumki bir kilomol ideal gazning ichki energiyasi

$$U = C_V T \quad (22)$$

ga teng, bu erda C_V - o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi, T - temperatura C_V - doimiy kattalik bo'lgani uchun (1) tenglikni differensiallab, shunday ifoda olamiz

$$dU = C_V dT \quad (23)$$

Adiabatik jarayonda ish ichki energiyaning kamayishi hisobiga bajariladi, ya'ni

$$dA = -dU \quad \text{yoki} \quad dU = -PdV \quad (24)$$

ga teng teng bo'ladi. (24) ni (23) ga qo'yamiz. $PdV = C_V dT$. Mendeleev - Klapeyron tenglamasidan foydalanib oxirgi ifodadagi P bosimni $\frac{RT}{V}$ ga almashtiramiz:

$$\frac{RT}{V} dV = -C_v dT \text{ yoki } \frac{R}{C_v} \frac{dV}{V} = -\frac{dT}{T}$$

Bundan gaz hajmining adiabatik o'zgarishida uning temperaturasi ham o'zgarishi kelib chiqadi. Bu tenglikni V_1 va V_2 gacha chegaralarda va mos ravishda T_1 dan T_2 gacha integrallab, quyidaagi tenglikni hosil qilamiz.

$$\frac{R}{C_v} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}, \quad \text{Ushbu ifodani integrallasak u quyidagi ko'rinishga}$$

keladi:

$$\frac{R}{C_v} (\ln V_2 - \ln V_1) = \ln T_1 - \ln T_2 \quad \text{yoki} \quad \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{R}{C_v}} = \ln \frac{T_1}{T_2}. \quad (25)$$

Bu tenglikni potensirlab $\frac{R}{C_v} = \frac{C_p - C_v}{C_v} = \gamma - 1$ ekanligini nazarga olib, hamda

R. Mayer formulasini qo'llab quyidagi ifodani hosil qilamiz: (ya'ni $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$).

ekanligini e'tiborga olsak) $\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}$ quyidagi ixcham ifodaga keladi.

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad (26)$$

yoki, umumiy holda (26) ni quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin.

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (27)$$

Ushbu formula ideal gazdagi adiabatik jarayonni ta'riflovchi Puasson qonunini ifodalaydi. Puasson qonuni xulosasi: gazni adiabatik kengaytirishda uning temperaturasi pasayadi, adiabatik siqishda esa ko'tariladi. Adiabatik jarayonda bajarilgan ishni hisoblash jarayoni Boyle-Mariott qonuniga bo'ysunmaydi.

Yuqoridagi mulohazalar asosida adiabatik jarayonida bajarilgan ish ifodasini keltirib chiqarish mumkin.

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2) = C_v (T_1 - T_2) \quad (32)$$

Demak, (5.32) formula adiabatik jarayonda gazning bajargan ishini ifodalaydi. Adiabatik jarayoniga misol qilib, porshen ostida siqilgan gazni ko'rsatish mumkin. Shuningdek, adiabatik jarayonni amalga oshirishga velosiped kamerasiga nasos bilan tez dam berish ham misol bo'la oladi. Havoni ko'p martalab tez-tez siqilishida ajralgan issiqlik miqdorining ancha qismi atrof muhitga o'tishga ulgura olmaydi, buning natijasida nasos sezilarli darajada qizishi ma'lum.

Ichki yonuv dvigatelissilindrida yonilg'i aralashmaning kengayishi va siqilishi singari jarayonlarni ham adiabatik jarayon deyish mumkin. Dizel dvigatelissilindrida siqish jarayonning adiabatik xarakteri ayniqsa ravshan namoyon bo'ladi. Dizel mashinasida o't oldiruvchi (svecha) bo'lmaydi: aralashma adiabatik isish natijasida o'z-o'zidan alangalanib ketadi. Gazlarning adiabatik jarayonlariga kelganda shuni aytish kerakki, ular tabiatda keng tarqalgan.

Nazorat savollari

1. Ideal gazning ichki energiyasi deb nimaga aytiladi.

2. Ichki energiyaning erkinlik darajasi bo'yicha taqsimoti qonunini tushuntiring.

3. Erkinlik darajasi nima.

4. Ish va issiqlik miqdori nima?

5. Issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?

6. Gazlarning adiabatik jarayonida bajargan ishi nimaga teng?

3.2. Mavzu: Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Termodinamikaning ikkinchi qonunini ta'riflari. Qaytar va qaytmas jarayonlar. Issiqlikni ishga aylantirish

Reja:

Energiyaning saqlanish va o'zgarishi qonunini ifodalovchi termodinamikaning birinchi qonuni termodinamik jarayonlarning o'tish yo'nalishini aniqlashga imkon bermaydi. Bundan tashqari, birinchi qonunga zid bo'lmagan ko'plab jarayonlarni tasavvur qilish mumkin, bunda energiya saqlanadi, lekin tabiatda ular sodir bo'lmaydi. Termodinamikaning ikkinchi qonunining paydo bo'lishi - tabiatda qanday jarayonlar mumkin va qaysi biri mumkin emas degan savolga javob berish zarurati jarayonlarning rivojlanish yo'nalishini belgilaydi.

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish va aylanish jarayonini miqdoriy tomondan tavsiflaydi. Termodinamikaning ikkinchi qonuni bu jarayonlarning sifat tomonini tavsiflaydi. Termodinamikaning birinchi qonuni bironta jarayonning energetik balansini tuzish uchun zarur bo'lgan barcha ma'lumotlarni beradi, lekin u, bironta jarayonning sodir bo'lishi yoki bo'lmasligi haqida hech qanday ma'lumot bermaydi.

Har-xil olimlar termodinamikaning ikkinchi qonuniga turlicha ta'rif berganlar. Shu ta'riflar haqida qisqacha ma'lumot beraylik.

1. Sadi Karno (1824 yilda) quyidagi ta'rifni berdi: "Termodinamik tizim ish bajara olishi uchun kamida turli temperaturali ikki manba bo'lishi zarur. Issiqlik dvigatellari F.I.K. $\eta > 1$ bo'la olmaydi".

2. Klauzius ta'rif. "Issiqlik sovuqroq jismdan issiqroq bo'lgan jismga o'z-o'zidan o'tmaydi". Buni amalga oshirish uchun tashqi manba ish bajarishi kerak. Issiqlik miqdori hamma vaqt issiqroq jismdan sovuqroq jismga o'z-o'zidan o'tadi. Klauzius ta'rif ham jarayonning yo'nalishini ko'rsatadi.

3. Kelvin ta'rif. Ikkinchi turdagi abadiy dbigatel - bir issiqlik manbasini sovutish hisobiga olingan issiqlik bilan ishlaydigan davriy dvigatelni yaratish - mumkin emas.

Kelvin tomonidan aytilgan termodinamikaning ikkinchi qonunining ta'rifidan kelib chiqadigan bo'lsak, ushbu fikrni tushuntirish uchun issiqlik dvigatelinig ishlashini ko'rib chiqamiz (tarixiy nuqtai nazardan termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni issiqlik dvigatellarining ishlashini tahlil qilish natijasida paydo bo'lgan).

Masalan, Yer yuzidagi okeanlarda suv miqdori juda ko'p, agar shu suv havzasidan issiqlikni olish yo'li bilan uning haroratini 0,1 K pasaytira olsak, unda er sharidagi mashina va dastgohlarni 1500 yil davomida harakatga keltirish mumkin. Bunday mashinalar abadiy ishlaydigan mashinalarning ikkinhi turiga ekvivalent.

Lekin abadiy ishlaydigan mashinalarning ikkinchi turi termodinamikaning ikkinchi qonuniga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun abadiy ishlaydigan mashinaning ikkinchi turini vujudga keltirib bo'lmaydi.

Klauzius bilan Tomson keyinchalik S. Karnonning xulosalarini quyidagi prinsip asosda umumlashtirdilar. Bu prinsipga asosan birdan – bir natijasi issiqlik manbalarning bittasidan olingan issiqlik hisobiga ishlovchi davriy jarayonni vujudga keltirib bo'lmaydi. Bu prinsip termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini asosini ta'kil etadi. Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni absolyut qonun emas. Biroq undan kelib chiqadigan xulosalarga tajriba natijalarining aniq mos kelishi ikkinchi bosh qonunini to'g'riligini tasdiqlaydi.

Shuni aytib o'tish lozimki, ikkinchi tur abadiy dvigatelining mavjud bo'lishi termodinamikaning birinchi qonuniga qarshi bo'lmaydi. Haqiqatan ham bu Dvigatelda ish hech narsadan emas, balki issiqlik manbaining ichki energiyasi hisobiga bajarilgan bo'lur edi.

Issiqlik jarayonlarining o'ziga xos muhim xususiyatini ta'kidlab o'tish zarur. Mexanik ishni, elektrik energiyasi ishi va hokazolarini batamom to'la issiqlikka aylantirish mumkin. Issiqlikka kelsak, davriy takrorlanadigan jarayonda uning bir qismigina mexanik va boshqa turlardagi ishga aylanishi mumkin: uning boshqa qismi muqarrar ravishda sovuq manbaga berilishi kerak.

Termodinamikaning birinchi qonuni tabiatdagi jarayonlarning yo'nalishini aniqlab bermaydi. Masalan, ma'lum tezlik bilan harakatlanayotgan mashinaning kinetik energiyasi tormozlanish natijasida issiqlikka aylanadi va atrof-muhitga sochiladi. Mana shu sochilgan energiya mashinaga berilsa, uning kinetik energiyasiga aylanmaydi.

Tajribalardan bizga ma'lumki, issiqlik o'z-o'zidan hamma vaqt issiq jismdan sovuqroq jismga o'tadi, ammo teskari jarayon o'z-o'zidan amalga oshmaydi. Mana shunday jarayonlar termodinamikaning birinchi qonuniga zid emas, chunki bunda issiqlik va ish o'rtasida ma'lum bir munosabat bajariladi. Masalan, birdan-bir natijasi biror jismdan olingan issiqlikni unga ekvivalent bo'lgan ishga aylantiradigan jarayon termodinamika birinchi qonuniga xilof emas. Demak, termodinamikaning birinchi qonuniga asoslanib, faqat bitta isitkichdan olingan issiqlik energiyasi hisobiga davriy ishlaydigan dvigatelni vujudga keltirish mumkin degan xulosaga keladi. Bunday dvigatelni ikkinchi tur abadiy dvigatel deyiladi.

Ikkinchi turdagi abadiy dvigatelni yaratish, iloji bo'lganda edi, u amalda abadiy ishlar edi. Masalan, okeanlarning suvlarini 1°C ga sovutishda olingan issiqlik juda katta energiya beradi. Dunyo okeanidagi suv massasi taxminan 10^{18} tonnani tashkil etadi, agar u 1°C ga sovutilsa, taxminan 10^{24} J issiqlik ajralib chiqadi, bu 10^{14} tonna ko'mirning to'liq yonishiga teng. Bunday miqdordagi ko'mir ortilgan poezd 10^{10} km masofaga cho'zilgan bo'lardi, bu taxminan quyosh tizimining o'lchamiga to'g'ri keladi!

Yuqorida keltirilgan va boshqa ko'p tajriba natijalariga asoslanib quyidagi xulosaga kelamiz, ya'ni abadiy ishlaydigan mashinaning ikkinchi turini vujudga keltirib bo'lmaydi. Buni ko'pincha termodinamika ikkinchi qonunining yana bir ta'rifi deb yuritiladi.

Biz termodinamikaning ikkinchi qonunining yanada ixchamroq t'rifini berishimiz mumkin: yopiq tizimda sodir bo'ladigan jarayonlarda entropiya kamaymaydi. Bu erda eng muhimi gap yopiq tizimlar haqida bormoqda, chunki ochiq tizimlarda entropiya har qanday tarzda o'zgarishi mumkin (kamayishi, ortishi va doimiy qolishi mumkin). Bundan tashqari, biz yana bir bor ta'kidlaymizki, entropiya faqat qaytar jarayonlarda yopiq tizimda doimiy bo'lib qoladi. Yopiq tizimdagi qaytmas jarayonlarda entropiya doimo ortadi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni tabiatda sodir bo'layotgan issiqlik jarayonlarining o'tish yo'nalishini va tavsifini aniqlab beradi.

Nazorat savollari

1. Termodinamikaning II qonuniga haqida aytib bering.
2. Issiqlik mashinasining FIKi nimaga teng?
3. R. Klauzius termodinamikaning II qonuniga bergan ta'rifini aytib bering?
4. Ikkinchi tur abadiy dvigatel nima?
5. Issiqlik dvigateling ishlashi tushuntiring.
6. Karno siklining FIK nimaga teng?

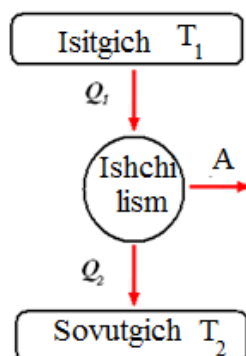
3.3. Mavzu: Issiqlik mashinalari. Karno Sikli. Entropiya. Termodinamikaning ikkinchi qonunining statistik ma'nosi.

Issiqlik dvigateli deb yoqilg'ining issiqlik energiyasini mexanik ishga aylantirib beradigan qurilmaga aytiladi. 1824-yilda S.Karno tomonidan yozilgan "Olovning harakatlantiruvchi kuchi va uni amalga oshiradigan mashinalar haqida mulohazalar" asarida yoqilg'ining issiqlik energiyasi hisobiga ishlaydigan ideal issiqlik mashinasini taklif etdi. Asarda S.Karno tomonidan ilgari surilgan ideal issiqlik mashinasining ishlash prinsipi Karno sikli deb ataladigan aylanma qaytar jarayon bilan bog'langan. Shunga ko'ra, bu sikl amaliy hamda tarixiy ahamiyatga ega. Karno siklida o'z-o'zicha bormaydigan issiqlikning ishga aylanish jarayoni o'z-o'zicha boruvchi jarayonning issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o'z-o'zicha o'tish jarayoni bilan qo'shib birgalikda olib borganda amalga oshishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shu bilan birgalikda texnikada amaliy ahamiyatga ega bo'lgan foydali ish koeffitsiyentining nimalarga bog'liqligi va uni oshirish usullari ko'rsatilgan.

C. Karno tomonidan taklif etilgan issiqlik dvigateling ishlash prinsipi 1-rasmda ko'rsatilgan. Issiqlik mashinaasi deb ataladigan T_1 harorati yuqori bo'lgan isitgichdan bir siklda Q_1 issiqlik miqdori olinadi va sovutgich deb ataladigan past haroratli T_2 sovutgichga bir tsiklda Q_2 issiqlik miqdori uzatiladi. Bunda issiqlik mashinasi $A=Q_1-Q_2$ ish bajarildi. Shunday sikl asosida ishlaydigan issiqlik mashina-larining F.I.K. faqat isitgich va sovutgichning temperaturalariga bog'liq bo'lib, ularning tuzilishiga ham va ishchi jismga ham bog'liq emas. Haqiqatdan ham, Karno sikli asosida ishlaydigan mashinalarning FIK T_1 va T_2 harorat qiymatlari bilan aniqlanadi.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

Bu formuladan ko‘rinadiki, isitgich va sovutgich temperaturallari T_1 va T_2 bo‘lgan va Karno sikli asosida ishlaydigan barcha issiqlik mashinalarining FIK birdan kichik bo‘ladi.



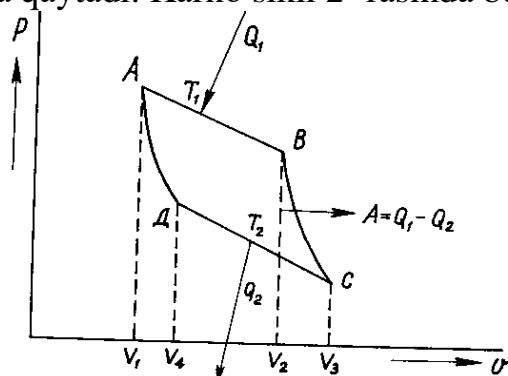
1 rasm

Issiqlik dvigatelining issiqlik samaradorligi $\eta=1$ bo‘lishi uchun $Q_2=0$ shart bajarilishi kerak, ya‘ni issiqlik mashinasida bitta issiqlik manbai bo‘lishi kerak, lekin bu mumkin emas. Shunday qilib, frantsuz fizigi va muhandisi S. Karno (1796-1832) issiqlik dvigatelining ishlashi uchun haroratlari har xil bo‘lgan va ikkita issiqlik manbasi kerakligini ko‘rsatdi, aks holda bu termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid keladi. Issiqlik dvigatelining ishlash printsipi 1 rasmda ko‘rsatilgan.

Shunday qilib, frantsuz fizigi S. Karno (1796-1832) issiqlik dvigatelining ishlashi uchun haroratlari har xil bo‘lgan kamida ikkita issiqlik manbasi bo‘lish kerakligini ko‘rsatdi, aks holda bu termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid keladi.

Issiqlik dvigatelining issiqlik samaradorligi $\eta=1$ bo‘lishi uchun $Q_2=0$ shart bajarilishi kerak, ya‘ni issiqlik mashinasida bitta issiqlik manbai bo‘lishi kerak, lekin bu mumkin emas. Issiqlik dvigatelida sodir bo‘ladigan jarayonga teskari jarayon sovutish mashinasida qo‘llaniladi. Bir sikl davomida tizim T_2 harorati pastroq termostatdan Q_2 issiqlik miqdorini oladi va undan yuqori haroratli T_1 isitgichga Q_1 issiqlik miqdorini beradi.

Karno sikli T_1 haroratli issiqlik manbai va T_2 haroratli sovutkichdan iborat. Ular juda katta hajmda bo‘lib, isitkichdan issiqlik olinganda va sovutkichga issiqlik berilganda ularning harorati deyarli o‘zgarmaydi. Hamma jarayonlar kvazistatik muvozanat holatidan cheksiz kichik farq qiladigan holatda bosqichlab olib boriladi. Bular esa hamma jarayonni termodinamik qaytar ravishda olib borishni ta‘minlaydi. Karno sikli aylanma jarayon bo‘lib, jarayondan so‘ng sistema va tashqi muhit o‘zining oldingi holatiga qaytadi. Karno sikli 2- rasmda berilgan.



2-rasm. Karno sikli.

Karno siklida ish bajarish siklik, ya'ni aylanma jarayon natijasida amalga oshiriladi. Bu sikl birin-ketin boradigan to'rtta qaytar jarayondan iborat: gazning izotermik kengayishi, AB izotermasi, gazning adiabatik kengayib, sovishi, BC adiabatasi, gazning izotermik siqilishi, SD izotermasi, gazning adiabatik siqilib isishi, DK adiabatasi dan tashkil topgan.

a) 1 mol ideal gaz issiqlik manbaidan Q_1 issiqlik olib T_1 haroratda V_1 dan V_2 gacha AB izoterma bo'yicha kengaysin; bunda sistema(gaz)ning bajargan ish A_1

$$A_1 = RT \ln \frac{V_2}{V_1} n \quad (1.1)$$

bo'ladi, bunda sistemaning bajargan ishi musbat (+), bo'ladi. Agarda sistema ustida ustida tashqi kuchlar ish bajarsa uning ishi manfiy (-) ishora bilan belgilanadi: Bu ish miqdori AB $V_2 V_1 A$ kvadrat yuzasiga teng bo'ladi.

b) birinchi jarayon natijasida B nuqtaga kelgan gazni issiqlik manbaidan ajratiladi, va u adiabatik ravishda (ya'ni $Q=0$) V_3 hajmgacha kengayadi. Bu kengayishda sistema issiqlik manbaidan ajratilganligi sababli o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi.

$$A_2 = -dU = C_V(T_1 - T_2) \quad (2)$$

Bu ish miqdori jihatidan BC $V_3 V_2 B$ kvadrat yuzaga teng.

v) endi sistema T_2 haroratda CD izotermasi bo'ylab, V_3 hajmdan V_4 hajmgacha siqiladi, bunda sistema ustidan bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$-A_3 = RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (3)$$

Ish miqdori SD $V_4 V_3$ kvadrat yuzaga teng. g) siklning oxirida ideal gaz V_4 dan dastlabki hajmi V_1 gacha DA adiaba bo'ylab siqilganida bajarilgan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$A_4 = \Delta U = C_V(T_1 - T_2) \quad (4)$$

bu ish AD $V_4, V_1 A$ kvadrat yuzaga teng. Agar Q_1 isitkichdan olingan va Q_2 sovitgichga berilgan issiqlik bo'lsa, umumiy bajarilgan ish $A = Q_1 - Q_2 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ ga teng. A_2 ish bilan A_4 ish ning qiymati teng, lekin ishorasi qarama-qarshi bo'lganligidan

$$A = Q_1 - Q_2 = A_4 + A_3 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (5)$$

BC va DS adiabatik jarayonlarda Puasson formulasi tatbiq etilsa: BC jarayon uchun: $T_1 V_2^{k-1} = T_2 V_3^{k-1}$ DA jarayon uchun: $T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_4^{k-1}$ bo'ladi, ularni birligiga bo'lib, $k-1$ darajali ildizni olsak, $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ bo'ladi. Buni (5) tenglamaga

qo'ysak, $A = Q - Q_2 = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$. Bu ish ABCD kvadrat yuzasiga teng. Bu

tenglamaning o'ng tomonini Q_1 ga, chap tomonini unga teng bo'lgan $RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ ga bo'lsak:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (6)$$

bo'ladi. $Q_1 - Q_2$ ayirma isitkichdan olingan issiqlikning ishga aylangan qismini ifodalaydi, uning Q_1 ga nisbatan foydali ish koeffitsiyenti (FIK) dir.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (7)$$

Shunday qilib, F.I.K. isitkich va sovutkichning haroratlari ayirmasiga bog'liq bo'lib, ishchi jism tabiatiga bog'liq emas (Karno-Klauzius nazariyasi). Issiqlikning ishga aylanishi imkoniyati (7) tenglama bilan chegaralangan bo'lib, doimo birdan kichik bo'ladi va qaytar ravishda ishlovchi har qanday mashinaning foydali ish koeffitsiyenti (7) tenglamaga asosan Karno siklining foydali ish koeffitsiyenti birdan katta bo'lishi mumkin emas.

Issiqlik mashinasining ishlash jarayonida qanday bo'lmasin qaytmas jarayon borsa, masalan, ishqalanish natijasida ish issiqlikga aylansa u holda F.I.K.ning kamayishiga olib keladi. 2-rasmdan ko'rinib turibdiki, jarayon qaytar jarayonga yaqinlashgan sari ko'p ish bajariladi (chiziqlarda pastki yuza). Shunday qilib, qaytar ravisha ishlovchi mashinaning F.I.K. eng ko'p bo'ladi va maksimum ish bajariladi, bu ishga A_{mak} **maksimum ish** deyiladi:

Karnoning ikkinchi teoremasiga ko'ra, qaytar jarayon asosida ishlovchi mashinaning FIK η_1 qaytmas jarayon asosida ishlovchi mashinaning foydali ish koeffitsiyenti η_2 dan har doim katta bo'ladi: $\eta_1 > \eta_2$. Amalda Karno sikli asosida ishlaydigan issiqlik mashinalarida issiqlikning bir qismi atrof-muhitga uzatilishi, shuningdek, ishqalanish kuchlarini engishga sarf bo'lganligi uchun uning bajargan ishi ideal mashinaning bajargan ishidan kam bo'ladi.

Ishchi jism R_1 bosim va T_1 temperatura bilan tavsiflanadigan 1 - boshlang'ich holatdan, ketma - ket sodir bo'ladigan izotermik va adiabatik jarayonlar orqali 3-holatga o'tadi va T_2 - sovutgich temperaturasiga ega bo'ladi. Ishchi jismning holatini bunday o'zgarishi isitgichdan olingan Q_1 issiqlik miqdori hisobiga amalga oshadi. Ishchi jismning 3 - holatdan 1 - boshlang'ich holatga qaytib o'tishi yana izotermik va adiabatik siqilish hisobiga amalga oshadi. Holatning bu o'zgarishida ajralib chiqqan Q_2 issiqlik miqdori Q_1 issiqlik miqdori qiymatidan kichikdir: $Q_2 < Q_1$

Shunday qilib, ishchi jismning 1 - holatdan 3 - holatga va 3 - holatdan 1 - holatga o'tishdagi qaytar jarayonda ajralib chiqqan va yutilgan issiqlik bir xil miqdorda emas ekan. Buning sababi, 1 - holatdan 2 - holatga ikki xil yo'l bilan o'tilganidadir, ya'ni, 1 - holatdan 3 - holatga o'tish jarayoni katta bosim ostida kengayish, 3 - holatdan 1 - holatga o'tish jarayoni esa, kichik bosim ostida siqilishi hisobiga amalga oshganligida-dir. Bundan juda muhim xulosaga kelish mumkin: ishchi jismga uzatilgan yoki undan olingan issiqlik miqdori uning boshlang'ich yoki oxirgi holatiga bog'liq bo'lmay, holatlarni o'zgarish jarayonining ko'rinishiga bog'liqdir. Boshqacha qilib aytganda, Q issiqlik miqdori, ichki energiyaga o'xshash, jism holatining funksiyasi emas. Bu xulosa, termodinamikaning birinchi qonuni ifodasidan ham ko'rinib turibdi: $dQ = dU + dA$

Jismning dA – bajargan ishi (yoki uning ustidan bajarilgan ish) uni qanday amalga oshirilganiga bog‘liqdir. dU – ichki energiyaning o‘zgarishi esa, holatning qanday o‘zgarishiga bog‘liq emas.

Real issiqlik mashinalarining FIKi

$$\eta_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (8)$$

ga teng: Qaytar jarayon asosida ishlaydigan ideal issiqlik mashinasining FIKi esa quyudagiga teng.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (9)$$

Real issiqlik mashinalarining FIK i ideal issiqlik mashinasining FIKidan kichik boladi, ya’ni $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ yoki $\frac{Q_1}{T_1} \leq \frac{Q_2}{T_2}$ Umumiy holda

$\frac{Q_1}{T_1} \leq \frac{Q_2}{T_2}$ yoki $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$, ni olamiz. Isitgichdan olingan issiqlik miqdori Q_1 ni musbat, sovitgichga berilgan issiqlik miqdori Q_2 ni manfiy deb hisoblasak,

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad \text{yoki} \quad \sum \frac{Q}{T} \leq 0 \quad (10)$$

kelib chiqadi.

Agar termodinamik sistemaning holati monoton ravishda o‘zgartirib borsa, bu o‘zgarish isitgichdan olinayotgan va sovitgichga berilayotgan issiqlik miqdorining o‘zgarishi tufayli ro‘y beradi, deb hisoblash mumkin. Shunday o‘zgaruvchi sikllar uchun yig‘indini integral bilan almashtirish mumkin:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (11)$$

Bu **Klauzius tengsizligi** deyiladi.

Entropiya tushunchasi va Klauzius tengsizligidan foydalanib, termodinamika-ning ikkinchi qonunini qaytmas jarayonlarda yopiq tizimning entropiyasini o‘shish qonuni sifatida shakllantirish mumkin: yopiq tizimdagi har qanday qaytarilmas jarayon shunday sodir bo‘ladi: sistemaning entropiyasi bir vaqtning o‘zida ortadi.

Jismga T_1 temperaturali isitgichdan uzatilgan Q_1 issiqlik miqdori, T_2 temperaturali sovitgichga berilgan Q_2 issiqlik miqdoriga teng emas, ammo bu issiqlik miqdorlarning holatlar temperaturalariga nisbatlari, qaytar jarayonlarda miqdor jihatdan bir-birlariga teng bo‘lar ekan:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (12)$$

Bu $\frac{Q}{T}$ - nisbatni ba’zan *keltirilgan (tartibga solingan) issiqlik miqdori* deb ataladi. Aylanma(qaytar) jarayonning cheksiz kichik qismida jismga berilgan keltirilgan issiqlik miqdori $\frac{\delta Q}{T}$ ga teng bo‘ladi.

Istalgan qaytar aylanma jarayonlarda natijaviy keltirilgan issiqlik miqdori nolga tengdir:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0, \quad (13)$$

Bu ifodada yopiq kontur bo'yicha olingan integralning nolga teng bo'lishi, integral ostidagi $\frac{\delta Q}{T}$ ifodani qandaydir S funksiyaning to'la diferensial ekanligini bildiradi

$$\frac{\delta Q}{T} = dS, \quad (14)$$

Bu erda S – funksiya *holat funksiyasi* yoki *entropiya* deb ataladi. (14) – ifodadan qaytar jarayonlar uchun entropiyaning o'zgarishi nolga tengdir:

$$\Delta S = 0, \quad (15)$$

Termodinamikada, qaytmas jarayonlarni vujudga keltiruvchi tizimning entropiyasi ortishi isbotlangan:

$$\Delta S > 0, \quad (16)$$

(15) va (16)- ifodalardan Klauzius tengsizligini keltirib chiqarish mumkin:

$$\Delta S \geq 0, \quad (17)$$

ya'ni, yopiq tizimlarning entropiyasi qaytar jarayonlarda o'zgarmasdan saqlanadi qaytmas jarayonlarda esa ortadi. Agarda tizim 1-holatdan 3-holatga muvozanatli o'tsa, (7.14) ifodaga asosan entropiyaning o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta S_{1 \rightarrow 3} = S_3 - S_1 = \int_1^3 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^3 \frac{dU + \delta A}{T}, \quad (18)$$

Bu erda entropiya emas, balki holat entropiyalar farqi fizik ma'noga egadir. Termodinamikaning birinchi qonuniga asoslanib, ayrim izojarayonlarda ideal gaz entropiyasining o'zgarishini hisoblash mumkin:

$$dU = \frac{m}{\mu} C_V dT, \quad \delta A = p dV = \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V}$$

bo'lgani uchun

$$\Delta S_{1 \rightarrow 3} = S_3 - S_1 = \frac{m}{\mu} C_V \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V},$$

yoki

$$\Delta S_{1 \rightarrow 3} = S_3 - S_1 = \frac{m}{\mu} \left(C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right), \quad (19)$$

1 - holatdan 3 - holatga o'tishda, ideal gazning entropiyasi o'zgarishi $\Delta S_{1 \rightarrow 3}$ o'tish jarayonining 1→3 ko'rinishiga bog'liq emas. Chunki adiabatik jarayonda $\delta Q = 0$ ga teng bo'ladi yoki $\Delta S = 0$ ga teng bo'ladi yoki $S = \text{const}$. Izotermik jarayonda esa $T_1 = T_2$, shu sababli $\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}$ ga teng bo'ladi. Izoxorik jarayonda esa

$$V_1 = V_2. \quad \Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{bo'ladi.}$$

Statistik fizikada entropiya tizim holatining termodinamik ehtimolligi bilan bog'lanadi va juda chuqur ma'noga ega bo'ladi.

Tizim holatining *termodinamik ehtimolligi* – makroskopik tizim holati qanday usul bilan hosil qilinganligini bildiradi yoki berilgan makroholat nechta mikroholatlardan iborat ekanligini bildiradi.

Bolsman ta'rifi bo'yicha, tizimning S entropiyasi va termodinamik ehtimolligi W quyidagicha bog'langandir

$$\Delta S = k \ln W, \quad (20)$$

bu erda k – Bolsman doimiysi. Demak, entropiya termodinamik tizim holati ehtimolligining ko'rsatkichidir yoki entropiya tizim tartibsizligi darajasining o'lchovidir. Haqiqatda, tizim holatini belgilovchi mumkin bo'lgan holatlar soni qancha ko'p bo'lsa, tizimning tartibsizlik darajasi yoki entropiyasi shuncha katta bo'ladi. Shu sababli, qaytmas jarayonlarda tizimning entropiyasi doimo ortib boradi.

Nazorat savollari

1. Klauzius tengsizligini mohiyatini tushuntiring.
2. Qaytuvchan jarayonni siz qanday tushunasiz.
3. Entropiyani fizik mohiyatini tushuntiring.
4. Qaytuvchan va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi nimaga teng?
5. Issiqlik mashinalari haqida aytib bering.
6. Karno siklini ayting.
7. R. Klauzius termodinamikaning II qonuniga bergan ta'rifini aytib bering?

3.4. Mavzu: Gazlarda ko'chish hodisasi. Gazlarning diffuziyasi. Gazlarda ichki ishqalanish. Gazlarning qovushqoqligi. Ideal gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi.

Termodinamik muvozanatda bo'lmagan tizimlarda ko'chish hodisalari deb ataladigan, alohida qaytmas jarayonlar sodir bo'ladi va bu jarayonlarda energiya, massa va impulslarning fazoviy ko'chishi kuzatiladi.

Ko'chish hodisalariga *issiqlik o'tkazuvchanligi* (energiyani ko'chishi), *diffuziya* (massa ko'chishi) va *ichki ishqalanish* hodisalari (impulsni ko'chishi) kiradi.

Ushbu ko'chish jarayonlarini ilmiy asosda o'rganish uchun gaz molekularini o'rtacha erkin yugurish yo'li va ularning o'rtacha to'qnashish soni kabi tushunchalar bilan tanishamiz.

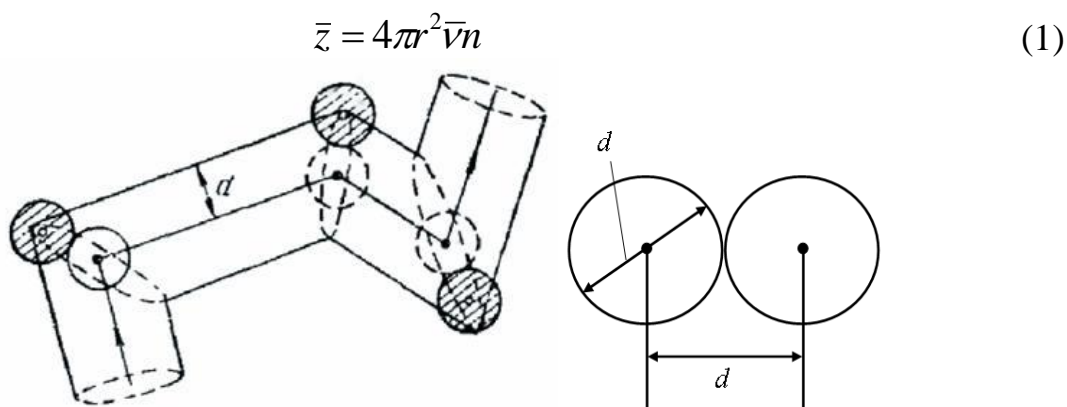
Molekulalarning o'rtacha to'qnashish soni va o'rtacha erkin yugurish yo'li

Gazdagi molekularar uzluksiz va tartibsiz harakatda bo'lib, bir-biri bilan to'qnashib turadi. Gaz molekulari tartibsiz harakatda bo'lishi sababli, bir-biri bilan uzluksiz to'qnashadilar. Molekula ikkita ketma-ket to'qnashishlar oraliq'ida ma'lum λ yo'lni bosib o'tadi va bu *erkin yugurish yo'li* deb ataladi. Umumiy holda ketma-ket to'qnashishlar orasidagi erkin yugurish yo'li uzunligi har xildir. Uning ustiga

molekulalar soni juda ko'p bo'lganligi sababli, molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li $\bar{\lambda}$ to'g'risida so'z yuritishimiz mumkin.

\bar{v} o'rtacha tezlik bilan xarakterlanayotgan aniq bir molekulani olib ko'raylik. Masalani soddalashtirish uchun biz tekshiradigan molekuladan tashqari barcha molekulalar tinch turibdi deb faraz qilamiz. U holda molekula o'z yo'lida markazlari harakat to'g'ri chizig'idan $2r$ dan katta bo'lmagan masofada yotuvchi molekulalarga tegib o'tadi. Demak, molekula vaqt birligida $d = 2r$ va λ uzunligi son jihatdan molekulaning ν tezligiga teng bo'lgan silindr ichida markazlari joylashgan z dona molekulaning barchasiga tegib o'tadi. Bunday silindrning ichida bo'ladigan molekulalar soni quyidagiga teng bo'ladi. $z = \pi d^2 \nu n$ bunda n - birlik hajmdagi molekulalar soni. Aniq qilib aytganda, to'qnashishlarda ikkita molekula markazlari yaqinlashishining eng kichik masofasi d - molekulalarning *effektiv diametri* deb ataladi (1 - rasm).

Bu formulaga $d = 2r$ ni qo'yib va ν ni \bar{v} molekulalarning o'rtacha tezligi deb hisoblab, molekulalarning vaqt birligidagi o'rtacha to'qnashishlar soni ifodasiga ega bo'lamiz.

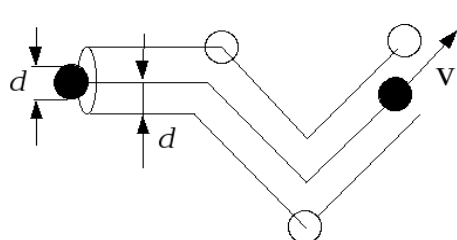


1- rasm. Molekulalar to'qnashishining effektiv diametri

Haqiqatda boshqa molekulalar ham harakatlanganligi uchun to'qnashishlar soni z (1) formuladan aniqlangan qiymatga qaraganda bir oz katta qiymatga ega bo'ladi. Aniq hisoblarlashlarning ko'rsatishicha z ning qiymati $\sqrt{2}$ marta katta bo'ladi. Ya'ni

$$\bar{z} = 4\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n \quad (2)$$

Molekulaning vaqt birligi ichida bosib o'tgan o'rtacha yo'lini vaqt birligidagi o'rtacha to'qnashishlar soni \bar{z} ga bo'lsak, molekulalar erkin yugurish yo'lining uzunligini topamiz.



$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} \quad (3)$$

bu formulaga (2) tenglikdan \bar{z} ning qiymatini qo'ysak:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n} \quad (4)$$

yoki agar molekulaning radiusi o'rniga effektiv diametri $d = \sigma = 2r$ ni kiritsak

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n} \quad (5)$$

bo'ladi.

Molekulalarning erkin yugurish yo'li $\bar{\lambda}$ to'qnashayotgan molekulalar tezligiga, ya'ni gazning temperaturasiga bog'liq bo'ladi. O'rtacha erkin yugurish yo'li molekulalar konsentratsiyasiga teskari proporsional ekan. $P = nkT$ tenglikdan foydalansak, temperatura o'zgarish bo'lganda, quyidagi nisbatni keltirib chiqarish mumkin.

$$\frac{\langle l_1 \rangle}{\langle l_2 \rangle} = \frac{\langle n_2 \rangle}{\langle n_1 \rangle} = \frac{P_2}{P_1} \quad (6)$$

1. Gazlarning diffuziyasi. Birinchi paragrafda diffuziya hodisasi bilan tanishgan edik. Endi diffuziya hodisasini nazariy jihatdan tahlil qilamiz.

Faraz qilaylik, jo'mrakli trubka bilan birlashtirilgan ikkita idishni tassovvur qiling. Birinchi idishda A gaz, ikkinchi idishda B gaz bo'lsin va ular o'zaro ta'sirlashmasin. Molekula massalarini xuddi molekulalar diametrlari kabi bir-biriga yaqin deb olamiz. A va B gazlar unga engil bo'lmagan gazning izotoplari ham bo'lishi mumkin shuning uchun ular molekulalari atom massalari biroz farq qilsada diametri bir xil bo'ladi. A va B idishda molekulalar massalari bir xil bo'lgan gazlar ham bo'lishi (masalan, CO va N₂ yoki CO₂ va N₂O) mumkin.

Agar gazli idishlarni birlashtiruvchi trubka o'qiga X o'qni, u holda biz bir o'lchamli gaz molekulalari harakatini qarashimiz mumkin. Juda kichik bosimlarda molekulalar juda kam to'qnashadi. Molekulaning erkin yugurish yo'li katta va gazlarning diffuziyalanishi sekin kechadi.

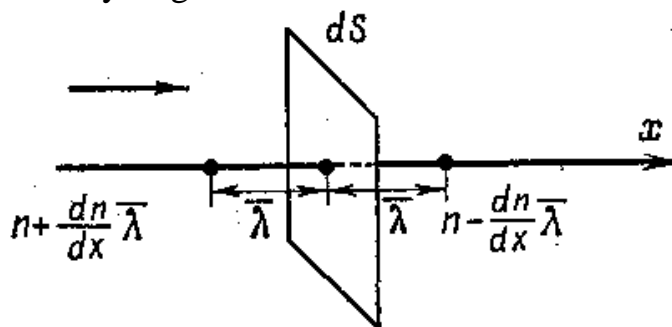
A gaz molekulalarining x o'qi bo'yicha tarqalishini qarab chiqamiz. Idishlardagi gaz aralashmasi bosimlari doimiy saqlanadi. X o'qi bo'yicha A gaz molekulalari konsentratsiyasi o'zgaradi. A gaz molekulalari konsentratsiyalari chapdan o'ngga kamayib B gaz molekulalari konsentratsiyasi ortib tenglashadi. Diffuziya jarayonining oxirgi natijasi bu gazlar egallagan butun hajm bo'yicha har ikkala gaz molekulalari konsentratsiyasining tengligidir. Bunday jarayonga **nostatsionar diffuziya** deb aytiladi.

Agar fazoning diffuziya boshlagan ob'ekti tashqi molekulalar bilan doimiy to'ldirib borilsa, **diffuziya statsionar** bo'ladi. Vaqtning dt momentida dS yuzaga trubka kesimidan o'tib aralashayotgan gaz massasini topamiz. Molekulalarning tartibsiz issiqlik harakati tufayli A gazning diffuziyalanish jarayoni X o'qi bo'yilab chapdan o'ngga va o'ndan chapga tomon kuzatiladi, lekin o'q bo'yicha A gaz konsentratsiyasi har xil bo'lgani uchun bu yo'nalishda aralashayotgan molekulalar soni har xil bo'ladi. Bu hol B gaz uchun ham o'rinlidir. Quyida biz faqat bitta gaz molekulalari harakatini qaraymiz.

Molekulalar xaotik (tartibsiz) harakatlanishi uchun ularning uchdan bir qismi X o'qi bo'yicha harakatlanadi. Ya'ni yarmi chapdan o'ngga yarmi o'ngdan chapga tomon. U holda dt vaqt ichida dS yuza orqali chapdan o'ngga uchib o'tgan molekulalar soni quyidagiga teng.

$$N_1 = \frac{1}{6} v(n + \frac{dn}{dx} \lambda) dS dt \quad (7)$$

bu erda n – birlik hajmidagi gaz molekulari soni, $\frac{dn}{dx}$ - x o‘q bo‘yicha gaz molekulari konsentratsiyasi gradienti.



2-rasm. Gazlarda o‘zaro diffuziya

Xuddi shu vaqtda gazning o‘ngdan chapga uchib o‘tgan molekulari soni quyidagiga teng:

$$N_2 = \frac{1}{6} v \left(n + \frac{dn}{dx} \lambda \right) dS dt \quad (8)$$

(7) va (8) ifodalar farqini bitta molekula massa m ga ko‘paytirib dt vaqt ichida dS yuza orqali diffuziyalangan gazning massasi dM ni topamiz.

$$dM = -\frac{1}{3} m v \lambda \frac{dn}{dx} dS dt \quad (9)$$

Gaz konsentratsiyasini c orqali ifodalasak, u holda $c = mn$ bo‘ladi va (3) ni quyidagicha yozamiz:

$$dM = -\frac{1}{3} v \lambda \frac{dc}{dx} dS dt \quad (10)$$

Bu ifoda Fik tomonidan eksperimental ravishda topilgan **diffuziya qonuni** hisoblanadi (Fikning birinchi qonuni):

$D = \frac{1}{3} v \lambda$ - kattalik diffuziya koeffitsientini deb ataladi. Ushbuni e‘tiborga olib (8.10) ni quyidagicha yozish mumkin.

D - diffuziya koeffitsientini tajriba yo‘li bilan ham aniqlash mumkin. D ni bilgan holda hisoblangan yoki o‘lchagan v tezlik orqali molekularning o‘rtacha erkin yugurish yo‘li topish mumkin. (10) tenglamani chiqarganda konsentratsiyalar farqi o‘zgarmas deb qaragan edik.

Agar tashqi molekular manbai yordamida konsentratsiya farqi doimiy ushlab turilsa u holda diffuziya statsionar bo‘ladi, aks holda diffuziya jarayoni nostatsionar bo‘ladi. (10) tenglamaning har ikkala tomonini $dS dt$ ga bolsak

$$j = -D \frac{dc}{dx} \quad (11)$$

Bo‘ladi. (11) ifoda birlik vaqtda, birlik S yuzadan o‘tadigan modda miqdori zijligini ifodalaydi. Demak, diffuziya jarayonida birlik vaqtda, birlik yuzadan o‘tadigan modda miqdori zijligini c konsentratsiya gradientiga to‘g‘ri proporsional ekan.

2. Gazlarda ichki ishqalanish. Har xil tezliklarda harakatlanayotgan, parallel qatlamli gaz yoki suyuqliklar orasida ichki ishqalanish hosil bo‘lish mexanizmi

tartibsiz issiqlik harakati tufayli qatlamlarni molekulalar bilan o‘zaro almashuviga bog‘liqdir. Natijada tezroq harakatlanayotgan qatlam impulsi kamayadi, sekin harakatlanayotgan qatlam impulsi oshadi va qatlamlarning harakat jadalligi o‘zgaradi.

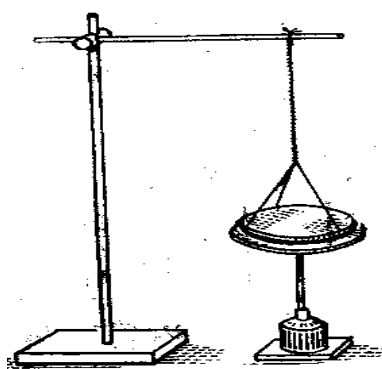
Gaz qatlamlari bir-birga nisbatan turli tezlik bilan harakatlanganda qatlamdan-qatlamga ma’lum miqdorda gaz molekulalari o‘tadi. Bunda tezligi katta qatlamdan tezligi kichik qatlamga gaz molekulalari impuls olib o‘tadi. Bu vaqtda tezligi kichik qatlamning harakati tezlashadi va aksincha tezligi katta qatlam sekinlashadi. Natijada qatlamlar tezligi bir- biriga yaqinlashish jarayoni ro‘y beradi. Bunga **ichki ishqalanish** deyiladi.

Suyuqlik yoki gazlardagi ichki ishqalanish kuchi suyuqlik mexanikasidan ma’lum bo‘lgan Nyuton formulasi orqali ifodalaniadi:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S \quad (12)$$

$\frac{dv}{dx}$ - tezlik gradienti, η – yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish koeffitsienti bo‘lib, u tezlik gradienti birga teng bo‘lganda birlik yuzga ta’sir etuvchi ichki ishqalanish kuchiga son jihatdan teng bo‘lgan kattaligidir. Uning birligi Pa·s (Puaz.s).

Gazlarda ichki ishqalanishning sodir bo‘lishini quyidagi tajriba yordamida kuzatish mumkin. M elektrodvigatel o‘qiga gorizontal ravishda A disk o‘rnatilgan bo‘lib, u elektrodvigatel yordamida aylanma harakatga keltiriladi(8.3-rasm).A diskka parallel ravishda ma’lum masofada ipga bog‘langan V disk osib qo‘yilgan. A disk harakatga kelgandan so‘ng V disk ham A disk harakati yo‘nalishida aylanma harakatga keladi. Chunki A disk aylanganda o‘ziga yaqin bo‘lgan havo qatlamini ham o‘zi bilan ilashtirib uni harakatga keltiradi. Shu tarzda molekulalar harakati gaz qatlamlari orqali uzatilishi natijasida V diskka ham etib borib, u ham aylanma harakatga keladi. Bu harakat gazda ichki ishqalanishning mavjudligi tufayli sodir bo‘ladi.

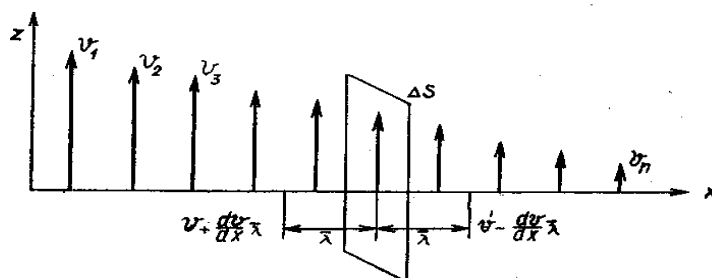


3 - rasm. Gazlarda ichki ishqalanishni kuzatish.

Ichki ishqalanish kuchini molekular kinetik nazariya asosida keltirib chiqaramiz. Ma’lumki, gaz molekulalari tartibsiz issiqlik harakatida bo‘lgani uchun fazoda uchta yo‘nalishi bo‘yicha harakatlanadi. Har bir o‘q yo‘nalishi bo‘yicha molekulalar umumiy sonining uchdan bir qismi harakatlanadi. Bularning yarmi o‘qning musbat va yarmi manfiy yo‘nalishi bo‘yicha harakatlanadi. Demak,

kuzatilayotgan X o'qining masalan, musbat yo'nalishi bo'yicha molekulalarning oltidan bir qismi harakatlanadi.

X o'qiga perpendikulyar olingan ΔS yuza orqali undan o'rtacha erkin yugurish yo'l uzunligicha oraliqda turgan molekulalar dt vaqtda o'rtacha arifmetik tezlik bilan harakatlanib o'tishi mumkin deb faraz etamiz (4-rasm).



4-rasm.

U vaqtda ΔS yuzadan dt vaqtda o'qning musbat yo'nalishi bo'yicha o'tgan molekulalarning olib o'tgan impulsi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_1 = \frac{1}{6} n v m \left(v + \frac{dv}{dx} \lambda \right) \Delta S dt. \quad (13)$$

X o'qining manfiy yo'nalishi bo'yicha olib o'tilgan impuls esa

$$K_2 = \frac{1}{6} n v m \left(v - \frac{dv}{dx} \lambda \right) \Delta S dt \quad (14)$$

ga teng bo'ladi. (13) va (14) ifodalar farqi yoki molekulalar impulsining to'la o'zgarishi gazlarning bir qatlamdan ikkinchi qatlamga uzatilgan kuch impulsini ifodalaydi:

$$\Delta K = F dt - \frac{1}{3} \rho v \lambda \left(\frac{dv}{dx} \right) \Delta S dt \quad (15)$$

(15) ni ikki tomonini dt ga bo'lib yuborib, $\rho = nm$ formulani e'tiborga olsak, (15) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$F = -\frac{1}{3} \rho v \lambda \left(\frac{dv}{dx} \right) \Delta S \quad (16)$$

Mazkur ifodani Nyuton formulasi (12) formula bilan taqqoslasak, ichki ishqalanish koeffitsienti quyidagicha ifodalaniladi:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v \lambda \quad (17)$$

Bu ifodaga $\lambda = \frac{v}{z}$ formuladagi o'rtacha erkin yugurish yo'lining ifodasi qo'yilsa, quyidagi ifodaga kelimiz:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} n} \quad \eta = \frac{mv}{3\sqrt{2\pi\sigma^2}} \quad (18)$$

Bundan ko'rinadiki ichki ishqalanish koeffitsienti gaz molekulalarining zichligiga va bosimiga bog'liq bo'lmas ekan. Juda siyraklashtirilgan gazlar uchun bu mulohaza o'rinsiz. Chunki bu holda molekulalrning erkin yugurish yo'li gaz

solingan idishning chiziqli o'lchamidan katta bo'lib, (18) formulani tatbiq qilib bo'lmaydi. $D = \frac{1}{3} \lambda v$ ni e'tiborga olsak, (17) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\eta = D\rho \quad (19)$$

Demak, ichki ishqalanish koeffitsienti diffuziya koeffitsentidan gazning zichligi marta katta bo'lar ekan.

3. Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi Agar, gazning bir qismida molekullarning o'rtacha kinetik energiyasi boshqa qismiga qaraganda kattaroq bo'lsa, natijada, vaqt o'tishi bilan molekullarning doimiy to'qnashishlari sababli, ularning o'rtacha kinetik energiyalari na faqat gazlarda balki suyuqlik va qattiq jismlarda turli yo'nalish bo'yicha tenglasha boradi, boshqacha qilib aytganda, istalgan muhitda molekullarning tartibsiz harakati natijasida temperatura tenglasha boradi. Muhitda energiyaning issiqlik ko'rinishda ko'chishi Fure qonuniga bo'ysunadi:

bu erda birlik vaqtda, birlik yuzadan issiqlik ko'rinishida ko'chadigan, energiya bilan aniqlanadigan issiqlik oqimining zichligidir, issiqlik o'tkazuvchanligi, yuza normal yo'nalishida birlik dx uzunlikka to'g'ri kelgan temperatura o'zgarishiga teng bo'lgan temperatura gradiyentidir. Minus ishora issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonida, temperatura past bo'lgan yo'nalishda energiya ko'chishini ko'rsatadi. Issiqlik o'tkazuvchanligi (temperatura gradiyenti birga teng bo'lganda issiqlik oqimi zichligiga teng bo'lgan kattaligidir:

bu erda C_v – xajm o'zgarish bo'lganda, gazning solishtirma issiqlik sig'imini ifodalaydi (ya'ni, hajm o'zgarishida 1 kg gazni 1 K ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoridir), – molekullar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi, o'rtacha erkin yugurish yo'li. Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $\lambda = \frac{1}{3} nmvC_v$

ga teng, agar $l = \frac{3\lambda}{nmv}$ qiymatni qo'ysak quyidagini hosil qilamiz: $\chi = C_v \eta$

Bundan ko'rinadiki, qovushqoqlik koeffitsienti bosim bilan bog'liq bo'lmagan sharoitlarda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti ham bosimga bog'liq bo'lmaydi. Bundan xulosa shuki, gaz joylashgan idish o'lchamidan molekullar erkin yugurish yo'li uzunligi kichik bo'lishi kerak. Agar bosim 760 mm.sim.ust.dan bir necha millimetr bosimgacha o'zgarsa, u holda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti 2-3% ga o'zgaradi. (2) va (1) formuladagi η ning qiymatini qo'ysak, $\chi = C_v D\rho$ (3) bo'ladi. Bundan,

$$D = \frac{\chi}{C_v \rho} \quad (4)$$

Agar (5) formulani $\frac{dT}{dt} = a^2 \frac{d^2T}{dx^2}$ formula bilan solishtirsak, gazlarning

diffuziya koeffitsienti D gazlarning harorat o'tkazuvchanligi a^2 ga teng. (3) formula gaz molekullari bir xil bo'lgan hol uchun olingan. Agar molekullar tezliklari bo'yicha Maksvelcha taqsimlanishi va boshqa faktorlar inobatga olinsa, (3) formulaga koeffitsientni kiritish zarur.

$$\chi = \alpha \cdot C_v \eta \quad (4)$$

Bu erda α - bir atomli gazlar uchun 2,5 dan, ko'p atomli gazlar uchun 1,5 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi. Yuqorida ko'rsatilgan gazlar issiqlik o'tkazuvchanlik, ichki ishqalanish va diffuziya hodisalari uchun yozilgan.

$$dQ = \frac{1}{3} v \lambda C_v \rho \frac{dT}{dx} dSdt \quad (a)$$

$$Fdt = \frac{1}{3} nvm\lambda \frac{d\mathcal{G}}{dx} dSdt \quad (b)$$

$$dM = \frac{1}{3} mv\lambda \frac{dn}{dx} dSdt \quad (c)$$

Bu formulalarni bitta formula bilan ifodalash mumkin va bunga **ko'chirilish tenglamasi** deb aytiladi. Haqiqatdan ham, hodisalarda gazlarda yoki bu fizik kattalikni ko'chirishi bilan ish tutdik. (a) Tenglamada issiqlik miqdorining ko'chirilishini (b) tenglamada harakt miqdorining ko'chirilishini (v) tenglama gaz massasining ko'chirilishini ifodalaydi. Ko'chirilgan (b) kattalikni ΔG orqali belgilab, (a), (b) va (c) tenglamalarni quyidagi bitta ko'rinishda yozamiz:

Nazorat savollari

1. Gazlarning qovushqoqligi (ichki ishqalanishi) to'g'risida tushuncha bering.
2. Gazlarning qovushqoqlik koeffisientini qanday hisoblanadi.
3. Qovushqoqlik koeffisietini qanday o'lchanadi.
4. Impuls ko'chish koeffisienti orasidagi munosabatni tushuntiring.

IV BOB. REAL GAZLAR VA ULARNING XOSSALARI

4.1. Mavzu: Real gazlar. Molekulalararo o'zaro ta'sir. Real gazlar.

Van-der-Vaals tenglamasi. Van-der-Vaals va Endryus izotermalari.

Biz ideal gaz molekulyar-kinetik nazariyasini o'rganganimizda gaz zarralarini (molekulalarini) elastik sharlarga o'xshagan va tartibsiz harakatlanuvchi molekulalardan iborat deb hisoblagan edik. Molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari hisobga olinmaydi deb qaralgan edi. Molekulalarning o'lchamlari molekulalar orasidagi o'rtacha masofaga nisbatan nazarga olmasa bo'ladigan darajada kichik deb hisoblanadi. Bu ideal gaz model bo'lib, unga Boyle Mariott, Gey-Lyussak qonunlari aniq bo'yso'nadigan gazga mos keladi. Biroq biz aytib o'tganimizdek real gazlar bu qonunlarga faqat taqriban bo'yso'nadi. Yuqori bosimlarda hamma gazlar ham Boyle-Mariott qonuniga bo'yso'nmay qo'yadi.

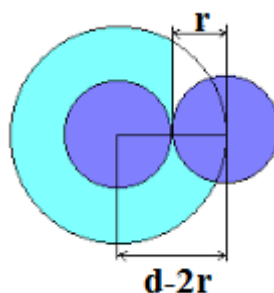
Agar bosim oshib borsa gaz Boyle-Mariott qonuniga bo'yso'nmaydi. Ya'ni gazlarni xossalari ideal gaz xossalaridan chetlashishiga olib keladi. Chunki, birinchidan gaz molekulalari o'zining ma'lum o'lmatchlariga ega bo'lishi. Ikkinchidan (molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining elastik sharlardagi o'zaro ta'sir kuchlariga qaraganda ancha murakkab bo'lishidir.

1873-yilda Gollandiyalik olim Van der Vaals ushbu ikkala sababni (omilni) hisobga oladigan yangi modelni birinchi bo'lib taklif qildi. U molekulalar o'rtasida elektr tabiatiga ega bo'lgan tortishish kuchlar mavjudligini taklif qildi. Van der Vaals gazi real gazning modeli bo'lib, unga asosan molekulalar xaotik harakatlanuvchi absolyut qattiq sharlar sifatida qaraladi, ular orasida molekulalararo o'zaro tortishish va itarishsh kuchlari ta'sir qiladi. Keling, ideal va real gaz o'rtasidagi asosiy farq nima ekanligini eslaylik. Real gazda uning molekulalari orasida bir vaqtning o'zida ham tortishish, ham itaruvchi kuchlar ta'sir qiladi.

Van der Vaals nazarda tutgan birinchi sabab molekulalarning chekli o'lchamga ega bolishidir. Agar molekulalar nuqtaviy bo'lsa edi, ular o'zlari turgan idishda erkinroq harakat qilgan bo'lar edi. Molekulalarning erkin harakatlanishi uchun mavjud bo'lgan hajm idishning geometrik hajmi V dan biror b kattalik qadar kichik bo'lishi lozim. Molekulalarning o'z hajmiga bog'liq bo'lgan b kattalikni berilgan miqdor gaz uchun o'zgarmas deb hisoblash mumkin. Shuning uchun gaz holat tenglamasida V hajm $V - b$ bilan almashtirilishi kerak. Endi mana shi b hajmni nimaga teng ekanligini baholaylik.

Molekulalarni qattiq sharlar deb hisoblar ekanmiz, ularning radiuslari taqriban 10^{-8} sm kattalikdagi shar deb olishimiz kerak. Bunda bir dona molekulaning hajmi quyidagiga teng:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx 4 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^3$$



1-rasm.

(1) rasmga asosan $d=2r$ masofani nazarda tutsak ikkita molekulaga to'g'ri keladigan man etilgan hajm quyidigiga teng. $V = \frac{4}{3}\pi(2r)^3 = 8V_1$ ga teng. Bitta molekulaga to'g'ri keladigan man etilgan hajm esa $V = 4V_1$ ga teng. Bir mol gaz uchun to'g'ri keladigan man etilgan hajm $V = 4V_1 N_A$ ga teng. Demak real gaz uchun idishda caz molekullari erkin harakat qila oladigan hajm $V - b$ ga teng ekan. Aniqroq aytganda Van-Der-Vaals kiritgan b tuzama molekullarning o'z hajmidan taxminan 4 marta kattadir. Hisoblashlar ko'rsatadiki bir mol gaz uchun $V_1 = nV \approx 10^{-4} \text{ sm}^3$ ga teng bo'ladi.

Normal sharoitdagi 1 sm^3 hajmli gazda taxminan $n=3 \cdot 10^{19}$ dona molekula bor desak, unda ushbu hajmda bo'lgan barcha molekullarning jami hajmi Ya' ni $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ bosim va 0°S temperaturadasi gaz molekullarining hajmi gaz hajmining taxminan o'n mingdan bir qisminigina egallar ekan.

Demak ideal gazning bir moli uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin: $PV_0 = RT$. Gaz molekullarining o'z o'lchamarini hisobga olish uchun bir mol gazning V_0 hajmini $(V_0 - b)$ bilan almashtirish lozim. Ya'ni

$$P(V_0 - b) = RT \quad (1)$$

tenglik o'rinli bo'ladi.

$PV_0 = RT$ tenglamadan, $P \rightarrow \infty$ bo'lganda gazning hajmi $V_0 \rightarrow 0$ bolganligi ya'ni cheksiz siqilayotgan gazning hajmi nolga intiladi. Ammo bunday bo'lishi mumkin emas. Gaz molekullar orasidagi bo'sh fazoning kamayishi hisobiga u siqiladi. (1) formulaga ko'ra $P \rightarrow \infty$ bo'lganda, gazning hajmi b ga teng bo'lishiga intiladi. Demak bosim juda katta bo'lganda bir mol gazning hajmi b kattalikka intiladi. U bir mol gazni tashkil qiluvchi barcha molekullarini zich joylashtirganda egallagan hajmiga tengdir.

Ikkinchi sababi (molekullar orasida o'zaro ta'sir kuchlarining mavjudligi, bir biridan ma'lum uzooqlikda turgan molekullarning o'zaro tortilishlariga olib keladi. bu tortilish kuchlari molekullar orasidagi masofa juda kichik bo'lgandagina yanada kuchliroq bo'lgan itarishish kuchlari bilan almashadi. Molekullar orasidagi tortirishi kuchlari ta'sirida gaz go'yo uncha idish devorlari ko'rsatayotgan tashqi P bosimdan ko'ra kattaroq P_1 bosim ta'sir etayotgandek, Boyl Mariott qonunidan kelib chiqadigan hajmga qaraganda kichikroq bo'lgan V hajmni egallaydi.

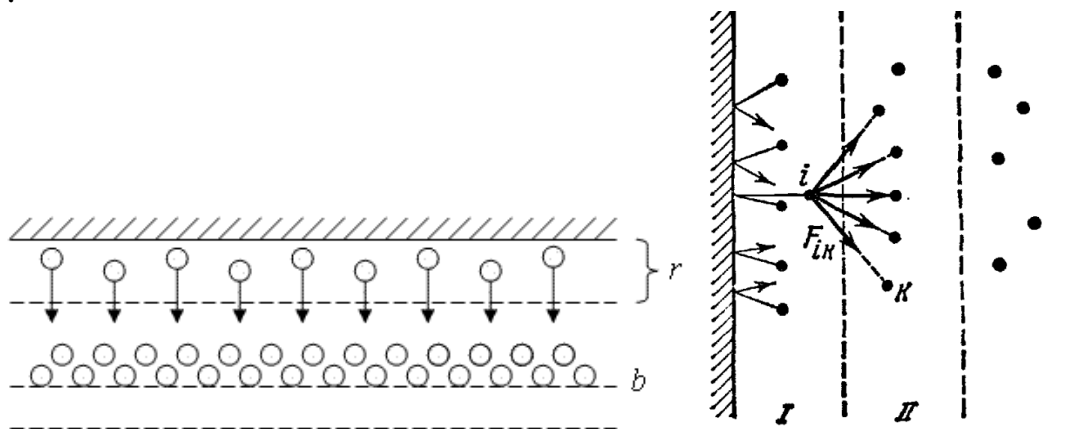
Bizga ma'lumki, gazni idish devoriga beradigan bosimi ko'p sonli molekullarning devorga urilishlari natijasida yuzaga keladi. Shuning uchun ileal gazning bosimi devorga bevosita yaqin turgan 1 qatlam molekullar konsentratsiyasiga proporsional bo'ladi. Devorga uriladigan barcha molekullarning qolgan molekullar bilan tortilishi oqibatida gaz bosimi qandaydir Δr kattalikka kamayadi. Modomiki, molekullar orasidagi o'zaro tortishish kuchi masofaga bog'liq holda juda tez kamayadigan bo'lsa, unda amalda birinchi qatlamni faqat qo'shni 11 qatlam bilan o'zaro tortishishini hisoba olish lozim. Bu tortishish kuchi ya'ni bosimi (birlik yuzaga ta'sir kuchi) ikkala qatlamdagi molekullar konsentratsiyasiga proporsional bo'ladi.

$$\Delta P \approx \frac{N}{V} \cdot \frac{N}{V} \approx n^2$$

Shunday qilib (2) tenglikda tashqi P_1 bosimni $(P+P_i)$ kattalik bilan almashtirish kerak, buning natijasida

$$(P = P_i)(V_0 - b) = RT \quad (3)$$

tenglik hosil bo'ladi. P_i bosim gazning ichki bosim deyiladi. gaz joylashgan A idishda molekularning o'zaro ta'sirini quyidagicha (8.1-rasm) ko'rsatish mumkin.



2-rasm

Devor yaqinidagi molekularlar r masofada turgan molekular a va b qatlamdagi molekularga ta'sir qiladi desak va bu qatlamning hajmi birligidagi molekular soni n ga proporsional bo'ladi. Natijada, devor yaqinidagi molekularga ta'sir qilayotgan va gazning ichiga qarab yo'nalgan kuchlar n^2 ga proporsionaldir. Mana shu kuchning devor yuzi birligiga to'g'ri keladigan miqdori ichki bosim P_i ni bildiradi. Ichki bosim P_i ning qiymati o'zaro ta'sir qilayotgan molekularning tabiatiga ham bog'liqdir. Bundan:

$$P_i = a^1 n^2 \quad (4)$$

Bu erda a^1 - molekularning xiliga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik.

$n = \frac{N_A}{V_0}$ bo'lgani uchun (N_A - Avagadro soni, V_0 - bir mol gazning hajmi) P_i ning ifodasini quyidagicha yozish mumkin.

$$P_i = \frac{a^1 N^2}{V_0^2} \quad (5)$$

yoki $a^1 N^2 = a$ desak

$$P_i = \frac{a}{V_0^2} \quad (6)$$

ga teng bo'ladi. (8.6) ifodani (8.3) ifodaga quysak 1 gaz uchun Van-Der-Vaals tenglamasini hosil qilamiz.

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - b) = RT \quad (7)$$

Bu erda a va b lar bosimga va hajmga kiritilgan tuzatmalar bo'lib, berilgan gaz uchun aniq qiymatlarga ega bo'ladi. R - kattalik gaz doimiysi, $R = 8,31 \cdot J / K \cdot mol$

Bu erda $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ J/K} \cdot \kappa \text{ M O}$. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati shundan iboratki, agar gazning molyar hajmi V_0 juda katta bo'lganda b - tuzatma V_0 ga nisbatan, a/V_0^2 - esa P ga nisbatan juda kichik bo'lganligi uchun ularni hisobga olmaslik ham mumkin. u holatda Van-Der-Vaals tenglamasi (1) tenglama $PV_0 = RT$ shaklini oladi. Demak Mendeleev-Klapeyron formulasining taqribiy ekanligi yaqqol ko'rinadi. Kichik P bosimlarda (katta V_0 hajmlar) sohasidagi haqiqatga yaqinroq bo'ladi. Bosim P katta bo'lganda esa a va b tuzutmalar e'tiborga olinishi kerak. Ya'ni Van-Der-Vaals (7) tenglamasidan foydalaniladi. Van-Der-Vaals formulasi ham absolyut aniq formula emas, ammo u Mendeleev Klapeyron formulasiga qaraganda haqiqatga ancha yaqindir. (7) formula bir mol real gaz uchun holat tenglamasi yoki Van-Der-Vaals tenglamasi deb ataladi. Agar ushbu tenglamani ixtiyoriy m - massali real gaz uchun ham yozish mumkin.

$$\left(P + \frac{\nu^2 a}{V_0^2} \right) (V_0 - \nu b) = \nu RT$$

Bu erda $\nu = \frac{m}{\mu}$ ga teng. Van-Der-Vaals tenglamasi:

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - b) = RT$$

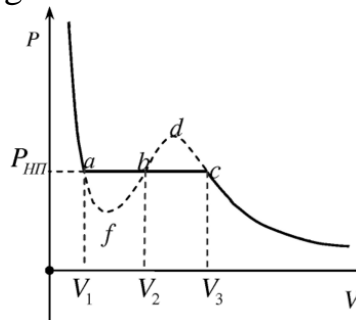
V_0 ga nisbatan uchinchi darajali algebrik tenglamadir. S' huning uchun u R va T ning qiymatlarga qarab, molekulyar hajm V_0 ning bitta yoki uchta har xil qiymatlarini beradi. T ning har xil qiymatlari uchun yozilgan Van-Der Vaals tenglamasi asosida R va V_0 ga bog'lanish grafigini chizsak, bir qator izotermalarga ega bo'lamiz.

$$PV^3 - (bP + RT)V^2 + aV - ab = 0 \quad (13)$$

Bu ifodanini har ikkala tomonini P ga bo'lib, quyidagicha yozish mumkin.

$$V^3 - \left(b + \frac{RT}{P} \right) V^2 + \frac{a}{P} V - \frac{ab}{P} = 0 \quad (14)$$

Bu V hajmga nisbatan 3-darajali tenglama bo'lib, uning uchta ildizi bor. Uning hammasi haqiqiy yoki ulardan ikkitasi mavxum va bittasi haqiqiy bo'lishi mumkin. Van-Der Vaals tenglamasining mavxum ildizlari fizikaviy ma'noga ega emas. Shuning uchun ularga qaramaymiz. Van-Der Vaals tenglamasi ildizlarning fizikaviy ma'nosini aniqlash uchun (1) tenglamaga tegishli izotermalarni, Ya'ni o'zgarmas temperaturada R bosimning V (molyar hajmga bog'lanishini qarash va ularni tajriba ma'lumotlarda olingan izotermal bilan solishtirish kerak.



3-rasm.

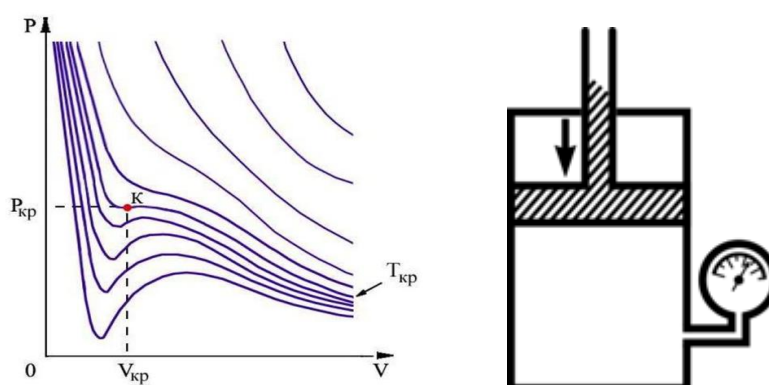
Bizga ma'lumki ideal gazning izotermasi giperbola edi, undan farqli ravishda (1) tenglamaga tegishli bo'lgan izoterma quyidagicha ko'rinishda bo'ladi. Biz uni Van-Der Vaals izotermasi deb ataymiz.

Bu izotermada bosimni bitta P_1 qiymatiga molyar hajmining V_1 , V_2 va V_3 qiymatlari mos keladi. Grafikni maksimal holatiga suyuq hamda bundan V_1 va V_3 holatlarga gazsimon holat mos keladi. Endi hajmi V_2 bo'lgan uchinchi holatining ma'nosini aniqlash kerak bo'ladi. Van-Der Vaals izotermalari bilan tajribada olingan izotermalar orasida katta farq bor. Bu farqni 3-rasmda ko'rsatish mumkin.

Van-der –Vals izotermalari Moddaning kritik xolati. Van-der –Vals tenglamasi

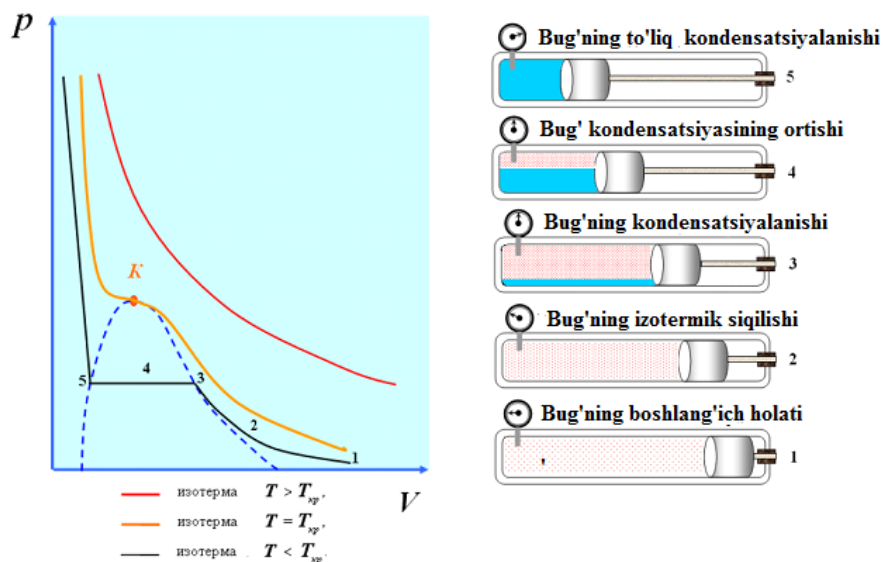
$$\left(P + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT$$

V_0 ga nisbatan uchinchi darajali algebraik tenglamadir. Shuning uchun u, P va T ning qiymatlariga qarab, molekulyar hajm V_0 ning bitta yoki uchta har xil qiymatlarini beradi. T ning har xil qiymatlari uchun yozilgan Van-der-Vals tenglamasi asosida p ning V_0 ga bog'lanishi grafigini chizsak, bir qatorda izotermalarga ega bo'lamiz. 155 – rasmdagi egri chiziqlarning (izotermalari) har bir ma'lum bir T temperaturaga mos keladi; temperatura T qancha yuqori bo'lsa, unga mos bo'lgan izoterma 155-rasmda shuncha o'ngroqda va balandroqda joylashgan bo'ladi. Rasmdan ko'rinishicha, faqat T yuqori temperaturalardagina V_0 ning kamayishi bilan izoterma tekis o'sib borishi Boyle-Mariott qonuniga tegishli izotermaga o'xshaydi. Bunday izotermada, gaz xuddi Mendeleyev –Klayperon formulasiga bo'ysungandagi kabi bosim p ning har bir qiymatiga molyar hajm V_0 ning bitta qiymati mos keladi. Pastroq temperaturalarda esa izotermalar bosim va hajmning ma'lum sohasida burilishlarga ega boladi. Bu sohada, umuman p bosimning har bitta qiymatiga V_0 hajmning uchta qiymati mos keladi.



4-rasm.

Birinchi qarashda juda g'alati bo'lib ko'rinadigan bu bog'lanishning mazmunini tushunish uchun tajribaga murojaat qilish kerak 3- rasm karbonat angidrid (CO_2) uchun tajribadan olingan izotermalar keltirilgan. Yuqori T temperaturalarda karbonat angidrid izotermalari ideal gaz izotermalariga o'xshaydi. Pastroq temperaturalarda izotermalarning xarakteri tamomila boshqacha bo'ladi Bundan pastroq temperaturaga tegishli izoterma 4-rasm tasvirlangan.



5-rasm.

Yuqorida aytilganlar tushunarli bo'lishi uchun, karbonat angidridning molyar hajmi V_0 bilan uning bosimi p orasidagi bog'lanishni aniqlashga imkon beradigan tajribaning sxemasini keltiramiz. Bu tajribaning sxemasi (5-rasm) quyidagicha; qalin devorli A silindr ichida B porshen ostida bir mol karbonat angidrid bor; uning temperaturasi T butun tajriba davomida o'zgarmas holda saqlanadi. Porshenning turli holatlari karbonat angidrid egallaydigan V_0 hajmni o'lchash mumkin. Bu turli hajmlarga mos bo'lgan bosimlar C manometr bilan o'lchanadi.

Karbonat angidridning hajmi V katta bo'lganda, B porshen pastga tusha brogan sari bosim bir tekis orta boradi; prosessning bu qismiga 4-rasmda tasvirlangan izotermaning ON tarmog'i mos keladi.

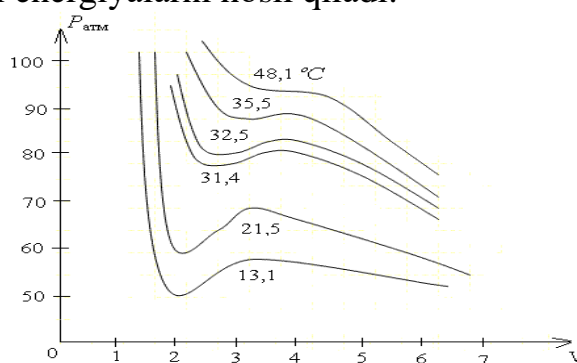
Garchi karbonat angidridning siqiluvchanligi Boyl–Mariott qonuni talab qilganidan ko'ra ko'proq bo'lsada, uning xossalari bu erda ideal gaz xossalari o'xshaydi. Bosim ma'lum bir P hajm esa mos ravishda V_0 qiymatga etganda (izotermaning N nuqtasi), karbonat angidridning xossalari keskin o'zgaradi; porshen yanada pastga tushurila borganda P bosim o'zgarmay qolaveradi, karbonat angidridning suyulish jarayoni boshlanadi. Porshen pastga qancha ko'proq tushsa, gazning (u bunday sharoitga to'yingan bug' deb ataladi) shuncha ko'proq qismi suyuqlikka aylanadi. Izotermaning p bosim va V^1_0 hajm bilan xarakterlanadigan M nuqtasi porshen ostidagi hamma karbonat angidridning butunlay suyuqlikka aylangan holatiga mos keladi. Bu vaqtda porshen ostida faqat suyuqlik bo'ladi; porshenning bundan keyingi surilishi katta kuch talab qiladi; chunki suyuqlik kam siqiluvchandir. Izotermaning ML tarmog'i karbonat angidridning suyuq holatiga mos keladi.

Suyulish yuz beradigan P_0 bosim to'yingan bug'ning berilgan T temperaturadagi elastikligi deyiladi. Bosim p to'yingan bug'ning p elastikligiga teng bo'lgan holda, berilgan miqdordagi modda v va v orasidagi ixtiyoriy molyar hajmlarga ega bo'la oladi. Bu sohada modda bir vaqtning u sohada modda bir vaqtning o'zida ikkita agregat holatda (ba'zan ikki fazada deb ham yuritiladi) – suyuq va gazsimon ho'zida ikkita agregat holatda (ba'zan ikki fazada deb ham yuritiladi) – suyuq va gazsimon holatlarda bo'ladi. Hajmning qiymati V^1_0 ga qancha

yaqin bolsa, moddaning suyuq holatda bo‘lgan qismi shuncha kop bo‘ladi va gaz (bug‘) qismi shuncha kam bo‘ladi.

Boshqa hamma moddalar uchun ham, ularni siqish yo‘li bilan gazsimon holatdan suyuq holatga o‘tkazish mumkin bo‘lgan temperaturalar sohasida huddi yuqoridagiga o‘xshagan izotermalar hosil bo‘ladi.

Rasmdagi Sd va af qismlarga mos keluvchi holatlar va fvd ga metastabil holatlar deb ataladi. SHunga asosan, Van-Der Vaals izotermalari bilan tajribadan olingan izoterma orasidagi farqni tushuntirish mumkin bo‘ladi. holat tenglamasining V_3 ildiziga mos keluvchi holatlar nostabil va metastabil bo‘lganliklari tufayli tajribada ko‘zatlilmaydi. Ikkita A va V molekula orasidagi masofani r bilan beglilaymiz. Ularni tortishish kuchi f_1 manfiy, itarshi kuchini f_2 musbat deymiz. Bu kuchlar mos ravishda o‘zaro tortishadigan molekulalarning E_r va o‘zaro itarishadigan E_r potensial energiyalarni hosil qiladi.



6-rasm

Temperatura o‘zgarganda bu izotermalarning qanday o‘zgarishini ko‘raylik. R–V grafikda Karbon oksidiga tegishli izotermalar berilgan (6-rasm). Bu izotermalar a va v ning qiymatlari tajribadan olingan: $a = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}$, $b = 42,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$ qiymatlari uchun hisoblangan.

Bu konstantalarning eksperimental ravishda qanday aniqlanishi grafikda keltirilgan. 8.4-rasmdagi egri chiziqlardan temperatura ko‘tarilgan sari izotermalarning yuqoriroq joylashishi ko‘rinib turibdi. Ammo shunday temperaturada ($31,4^\circ\text{S}$ da) izoterma ning maksimum va minimum birlashib $V = 0,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{mol}$ va $P = 73 \text{ atm}$ qiymatlarda Karbonad angidridi (SO_2) ning eksperimental izotermalari. Buriqish nuqtasiga aylanadi. Demak, temperatura ko‘tarilgan sari hajmning bosimning ayni bir qiymatiga mos keluvchi uchta qiymati orasidagi farq tobora kamayib boradi, Ya’ni Van-Der Vaals tenglamasining uchta ildizi orasidagi farq kamayadi. Karbon angidrid (SO_2) ning eksperimental izotermalari

$$P_k = \frac{a}{27b^2}, V_k = 3b, T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad (15)$$

Sinov savollari

1. Molekulalararo o‘zaro ta’sir kuchlari mohiyatini tushuntiring.
2. Eksperimental izotermalarni izohlang.
3. Real gaz deb nimaga aytiladi.
4. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati aytib bering.

5. Van-Der-Vaals izotermalari tushuntiring.
6. Kritik holatlarni tariflang.

4.2. Mavzu: Real gazning ichki energiyasi. Joule-Tomson effekti. Gazlarni suyultirish. Sovutgichlar va issiqlik nasoslari

Ma'lumki, ideal gazning U ichki energiyasi uning molekular harakatining kinetik energiyasidan iborat bo'lib, bu energiya berilgan gazning hajmiga ham bosimiga ham bog'liq bo'lmay faqat uning T temperaturasi bilan aniqlanadi: bir mol ideal gaz uchun $U = C_v T$ bo'lsa C_v o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidir. Real gazda molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari katta ahamiyatga ega ekanligini ko'rib o'tgan edik. Shuning uchun real gazning ichki energiyasi uning molekular harakatining kinetik energiyasi $E_k = \sum E_k$ bilan molekularning o'zaro ta'sir potensial energiyasining E_p yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$U = E_k + E_p \quad (1)$$

Molekularning o'zaro ta'siri potensial energiyasi ular orasidagi o'rtacha masofaga bog'liq, shuning uchun E_p gazning hajmiga bog'liq bo'lishi kerak. Atrofdagi jismlar bilan energiya almashinmagani holda gazning hajmi o'zgarsa, uning ichki energiya zaxirasi U o'zgarmaydi va bu holda (1) tenglikdan quyidagi kelib chiqadi.

$$\Delta E_p = -\Delta E_k \quad (2)$$

Yani real gazning hajmi o'zgarishi bilan uning potensial energiyasi o'zgarishida gaz molekular harakatining kinetik energiyasi ham o'zgarishi kerak. O'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'im C_v real gaz uchun ham faqat molekular harakatining kinetik energiyasi bilan aniqlanganligi sababli bu holda ham $E_k = C_p T$ tenglik (bir mol uchun) o'z kuchini saqlaydi va (2) munosabatdan quyidagini olamiz:

$$\Delta E_p = -C_v \Delta T$$

Bu ifodadan shunday xulosa kelib chiqadi: atrofdagi jismlar bilan issiqlik almashinmay va tashqi ish bajarmay real gazning hajmi o'zgarsa, uning temperaturasi ham o'zgaradi. Bunday hodisani kuzatishga birinchi bo'lib kirishgan Joule. Joule C jo'mirakka ega bo'lgan naycha bilan tutashtirilgan A va B idishlarni suvli kolorometr joylashtirgan. B idishning havosi so'rib olingan bo'lib A idish havosi biron bir P bosimga bo'lgan. C jo'mrak ochilganda A idishdagi havo B idishga oqib chiqib tashqi ish bajarmagani holda kengayadi. Joule bu tajribasida kolorometrning temperaturasi o'zgarmaganini payqaydi. Shunga asosan u gazning hajmi o'zgaranda uning ichki energiyasi o'zgarmaydi deb xulosa chiqaradi.

Bir qancha vaqtdan keyin Joule mana shu tajribani Tomson bilan birgalikda yanada sezgirroq boshqa variantda takrorlaydi. A va B idishlarni tutishtiruvchi naycha g'ovak tiqin C joylangan. Naycha issiqlik o'tkazmaydigan modda bilan o'ralgan A va B idishlarni gazi P_1 va P_2 bosimlari o'zgarmas holda holda saqlab turiladi. Gaz nay ichidagi tiqin orqali bosimi katta idishdan bosimi kichik idishga o'qadi. Tiqinning ikkala tomoniga sezgir termometr qo'yiladi. Bu vaqtda har ikki termometr ko'rsatayotgan temperaturalar orasida ozgina farq borligi ko'ringan. Tiqinning gaz kelayotgan tomonidagi temperaturalar ko'pchilik gazlar uchun bir oz

pastroq bo'lgan. Vodorod uchun temperaturaning o'zgarishi aksincha bo'lib chiqadi. Gazning hajmi (issiqlik almashinmay va tashqi ish bajarmay) kelayotganida uning temperaturasining o'zgarishidan iborat bo'lgan mana shu effekt Joule -Tomson effekti deyiladi. Bu hodisa real gaz hodisalarining ideal gaz xossalari farq qilish natijasidir.

Gazning kengayishi natijasida sovishidan iborat bo'lgan effektga Joule -Tomson musbat effekti deb gazning kengayish natijasida issishidan iborat bo'lgan effektga esa Joule -Tomson manfiy effekti deb ataladi. Keyinchalik Joule -Tomson effekti ishorasi Van-Der Baals qaysi birining roli kattaroq bo'lishiga bog'liq ekanini

aniqladi. Joule-Tomson effekti bilan Van-der-Vaals ning $\left(P + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT$

tenglamasidagi a va b tuzatmalar orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun mavzuda ketiringan potensial egri chiziqlaridan foydalanish mumkin. Sodda uchun ikkita ayrim ayrim holni:

1) Van-der -vaals tenglamasida a tuzatmani nazarga olmaslik mumkin. Bo'lgandagi gazni;

2) b tuzatmani nazarga olmaslik mumkin. Van-der-Vaals tenglamasidagi a tuzatma molekular orasidagi tortishish kuchlarining mavjud bo'lish bilan bog'liqligini ko'rgan edik. Shuning uchun birinchi holda molekular orasidagi tortishish kuchlari nihoyatda kichik dep olib, faqat itarishish kuchlarinigina hisobga olish kerak. U holda molekularning o'zaro ta'sir potensial energiyasi E_p molekular orasidagi r masofadaning funksiyasi sifatida 164 a) rasmda ko'rsatilgan egri chiziq bilan tasvirlanadi. Gazning P_1 bosimi katta bo'lganda molekular orasidagi o'rtacha masofa r_1 kichik bo'ladi. P_1 bosim kichik bo'lganda o'rtacha masofa r_2 katta bo'ladi va shunga ko'ra bosim kamayishi bilan ichki potensial energiyaning kamaya borishi 164 a) rasmdan ko'rinib turibdi

$$dE_p = E_{p2} - E_{p1} < 0$$

Ammo $dE_p < 0$ (3) tengsizlikdan $dT > 0$ ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, quyidagi xulosaga kelamiz: Van-der-Vaals tenglamasidagi a tuzatmaning nazarga olmaslik mumkin bo'lgan, lekin b tuzatma sezilarli rol o'yanaydigan gaz kengayganida isiydi, ikkinchi hol nuqtaviy deb hisoblash mumkin bolgan kichik o'lchamli molekular taaluqlidir, molekular orasidagi masofa etarli itarishish kuchlari sezilarli bo'lmaydi. Faqat (to'qnashish paytlaridan boshqa vaqtlarda) potensial energiya Yerning masofa r ga 164- rasmda tasvirlanganidek bog'lanishiga mos bo'lgan tortishish kuchlarinigina nazarga olishga tog'ri bo'ladi. Endi potensial energiyasi manfiy va uning son qiymati r ning o'sish bilan kamayadi shuning uchun

$$E_p = E_1 + E_2 < 0$$

Bundan (3) tengsizlikka asosan $\Delta T < 0$ ekanligi kelib chiqadi. Van-der-Vaals tenglamasidagi b tuzatmasi asosiy rolni o'ynasa bunday real gaz Joule-Tomson manfiy effekti deyiladi: agar real gaz uchun molekular orasidagi tortishish kuchlari hisobga oluvchi a tuzatma asosiy rolni o'ynasa bunday real gaz Joule -Tomson musbat effekti beriladi.

Ayni bir gaz uchun uning temperaturasi va bosimiga qarab goh b tuzatma goh a tuzatma katta rol o'ynashi mumkin. Shu sababli tashqi sharoitga qarab ayni bir real

gaz o'zini goh musbat goh manfiy Joule-Tomson effektini berishi mumkin. Juda katta bosimlarda har qanday gaz uchun ham molekullarning xususiy hajmi yangi b tuzatma kattaroq rol o'ynaydi. Demak, juda katta bosimlarda barcha gazlar Joule - Tomson manfiy effekti beriladi.

Bosim P va temperatura T ning ba'zi qiymatlarida har ikki a va b tuzatmaning roli birday bo'ladi: bunay holatlardagi real gaz Joule -Tomson 0 effektini beradi. Ya'ni gaz kengayganida ismaydi ham sovimaydi ham Joule -Tomson effekti 0 ga teng bo'lgan holat inversiya nuqtasi deyiladi. Inversiya nuqtasi egri chiziq hosil qiladi. P va T ning berilgan qiymatlariga mos nuqta uchun Joule -Tomson effekti u nuqtada inversiya chizig'i qaysi tomonda yotishiga qarab musbat yoki manfiy bo'ladi. Agar u nuqta egri chiziqdan pastga bo'lsa Joule -Tomson effekti musbat, agar u nuqta egri chiziqdan yuqorida bo'lsa Joule-Tomson effekti manfiy bo'ladi.

Bizga ma'lumki, ideal gazning U -ichki energiyasi uning molekullarning harakatining E_k kinetik energiyasidan iborat. Bu energiya berilgan gazning hajmiga ham, bosimiga ham bog'liq bo'lmay, faqat uning T – temperaturasi bilan aniqlanadi. Bir mol ideal gaz uchun $U = E_k = C_V T$ bunda C_V – o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidir. Real gazda molekullar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari katta ahamiyatga egaligini bilamiz.

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 molekullar orasida tortishish (ilashish) kuchlari mavjud bo'lib, gaz kengayishida bu kuchlarni engish uchun ish sarflanadi. Ish gazning ichki energiyasi hisobidan sarflanadi va gaz harorati pasayadi.

Quyidagi tajribani qaraylik. Idish olamiz va uni ikki qismga 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 molekullar orasidagi ilashish kuchlarini engganda kuzatiladi.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan gazning to'liq ichki energiyasi kengayishdan oldin va keyin ham teng bo'ladi, tashqi kuchlarga qarshi ish bajarilmaydi, ya'ni

$C_V \cdot T_1 - \frac{a}{V_1} = C_V \cdot T_2 - \frac{a}{V_2}$, Haroratning o'zgarishi

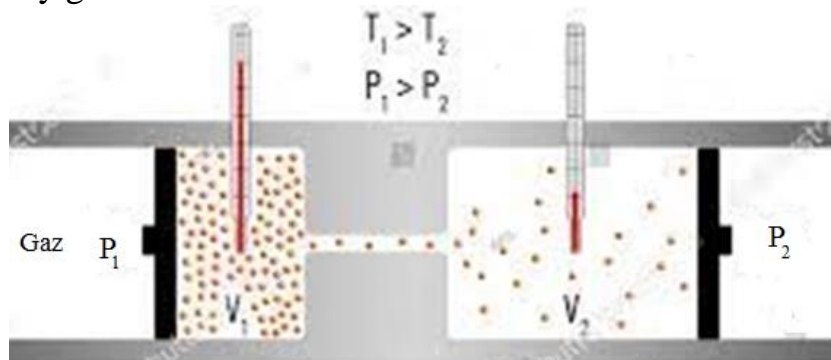
$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{a}{C_V} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)$$

bu erda T_1 va V_1 -gaz hajmi kengayishidan oldingi harorat va hajm, T_2 va V_2 -mos ravishda gaz hajmi kengaygandan keyingi harorat va hajmi.

Agar $V_2 > V_1$ bo'lsa, farq manfiy, bunda albatta, haroratlar farqi ham manfiy bo'ladi. Bu gazning bo'shliqda kengayishida uning sovishini bildiradi. Ayrim hollarda kengayayotgan gaz harorati oshishi ham mumkin. Bu hodisani Joule va Tomson tajribasida ko'ramiz. Joule va Tomson tajribani quyidagicha o'tkazgan (10.1 rasm). Issiqlik otkazmaydigan trubkada tiqin joylashtirilgan. Tiqinning bir tomonida P_2 bosim ostida, ikkinchi tomonida esa $P_2 < P_1$ bosim ostida gaz bor. Bosimning har xil bo'lganligi sababli gaz vaqt o'tishi bilan tiqin orqali trubkaning bir tomonidan

ikkinchi tomoniga o'tadi. Tiqinning har ikki tomoniga termometr, joylashtirib Joule-Tomson tajribasida gaz haroratlari o'zgarish belgisini aniqlash mumkin.

Tajriba ko'rsatadiki, xona haroratida ko'pchilik gazlarda sovish, faqat vodorod va geliy gazlarida isish kuzatiladi.



1-rasm. Joule-Tomson tajribasi sxemasi.

Bu hodisaning sababini qarab chiqamiz. Faraz qilaylik, bir mol gaz P_1 bosimda V_1 hajmni egallasin. Bu gazlarni tiqin orqali o'tkazish uchun $A_1 = P_1 V_1$ tashqi kuchlar ishi sarflanishi kerak. Gaz tiqindan o'tgandan so'ng, P_2 bosim ostida V_2 hajmgacha kengayadi va $A_2 = P_2 V_2$ ishni bajaradi. Jarayon adiabatik ekanligi hamda energiyaning saqlanish qonunini e'tiborga olib, quyidagini yozish mumkin.

$$U_1 + P_1 V_1 = U_2 + P_2 V_2 \quad (3)$$

Bu erda U_1 va U_2 mos ravishda gazning kengayishigacha va kengayishdan keyingi ichki energiyalari. Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = P_1 V_1 - P_2 V_2 \quad (4)$$

Joule-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.

$$P(V-b) = RT \quad (5)$$

Qavslarni ochib PV ko'paytmanni (4) ifodaga qo'ysak, quyidagini olamiz

$$\Delta U = R(T_1 - T_2) + b(P_1 - P_2) \quad (6)$$

Joule-Tomson tajribasida $T_1 - T_2$ harorat o'zgarishi juda kam shuning uchun birinchi yaqinlashishda uni nolga teng deb olamiz. U holda $P_1 > P_2$ bo'lsa 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 (6) 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 Joule-Tomson tajribasida gaz harorati ortadi.

Ideal gazning ichki energiyasi

Ideal gazning ichki energiyasi molekulalarning issiqlik harakatining kinetik energiyasi bilan belgilanadi va moddaning bir moli uchun quyidagi formula bilan ifodalanadi. $U_m = C_V T_1$. Real gazning ichki energiyasiga molekulalarning issiqlik harakatining kinetik energiyasi va ularning o'zaro ta'sirining potensial energiyasini o'z ichiga oladi kiradi. Real gazning potensial energiyasi faqat ichki bosimni

keltirib chiqaradigan bosimi molekulalarning $p_i = \frac{a}{V^2}$ ichki tortishish kuchlari bilan aniqlanadi. Shuning uchun molekulalararo o‘zaro ta’sir tufayli ichki energiyaning bir qismini ichki bosim kuchlarini engish uchun bajarilgan ish sifatida hisobga olish mumkin, ya’ni

$$dU = \delta A = p_i dV = \frac{a}{V^2} dV, \quad (7)$$

Bundan $U_m = -\frac{a}{V_m}$ ga teng bo‘ladi. Bu ifodadagi minus belgisi ichki bosim hosil qiluvchi molekulalararo kuchlar tortishish kuchlar ekanligini bildiradi. Real gazning ikkala tashkil etuvchisini hisobga olgan holda, shu gazning ichki energiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_m = C_v T - \frac{a}{V_m} \quad (8)$$

Ichki energiya U temperatura va hajmning oshishi bilan ortadi. Faraz qilaylik, real gaz tashqi ish bajarmasdan, V_{m1} hajmli holatdan V_{m2} hajmgacha adiabatik ravishda vakuumda kengaysin. U holda $\delta Q = U_2 - U_1 + \delta A$ ifodadan biz quyidagi ifodani olamiz $U_1 = U_2$. Ya’ni gaz ish bajarmasdan adiabatik kengayishida gazning ichki energiyasi o‘zgarmaydi. Bu tenglik formal ravishda ideal va real gazlar uchun ham amal qiladi. Biroq, bu tenglikning fizikaviy ma’nosi ikkala gaz uchun ham turlicha (farq qiladi). Ideal gaz uchun ushbu $U_1 = U_2$ tenglik haroratlarning tengligini $T_1 = T_2$ anglatadi; ideal gaz vakuumga kengayganda, uning harorati o‘zgarmaydi. real gaz holatida esa quyidagilarni hisobga olgan holda

$$U_{m1} = C_v T_1 - \frac{a}{V_{m1}} \quad \text{va} \quad U_{m2} = C_v T_2 - \frac{a}{V_{m2}}$$

Quyidagi formulaga kelamiz

$$T_1 - T_2 = \frac{a}{C_v} \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) \quad (9)$$

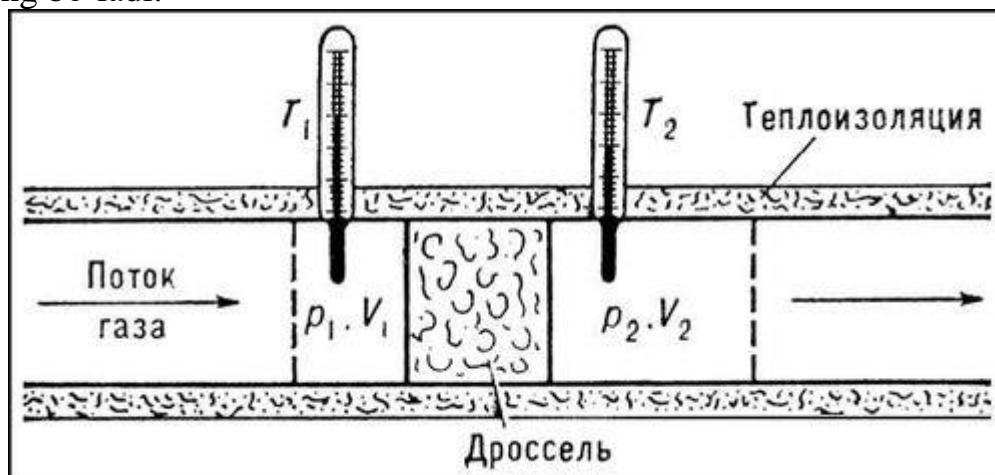
Demak gaz $V_2 > V_1$ hajmgacha kengayganda, soviydi shuning uchun $T_1 > T_2$. Real gaz vakuumda adiabatik kengayish jarayonida soviydi va siqish paytida esa qiziydi.

Agar ideal gaz adiabatik ravishda kengayib, ish bajaradi, va u ichki energiyasi kamayishi tufayli u soviydi. Bu Joule va Tomson tomonidan real gaz bilan tajriba o‘tkazish paytida kuzatilgan, Ular gazni g‘ovak to‘siqli (droselli teshik deb ataladi) issiqlik izolyatsiyalangan truba orqali o‘tkazdilar va gazning harorati to‘siqdan o‘tayotganda biroz temperaturasi o‘zgarganligini aniqladilar.

Bosim va haroratning boshlang‘ich qiymatlariga qarab, ΔT haroratning o‘zgarishi u yoki bu xususiyatga ega bo‘lishi mumkin va xususiy holda nolga ham teng bo‘lishi mumkin. Bu hodisa Joule-Tomson effekti deb ataladi. Agar gaz harorati pasaysa ($\Delta T < 0$), bu effekt musbat hisoblanadi; Agar gaz isib ketsa ($\Delta T > 0$), effekt manfiy hisoblanadi.

G‘ovakli to‘siq (paxta tiqin) bo‘lgan issiqlik izolyatsiyalangan trubkada trubka bo‘ylab ishqalanishsiz harakatlana oladigan 2 ta porshen mavjud. Bunda gaz P_1 va P_2 bosimlari doimiy ravishda saqlanadi, shuning uchun $P_1 > P_2$ bo‘lsin. P_1

bosimida gaz dastlab porshen 1 ostida tiqinning chap tomonida bo‘lsin, u V_1 hajmni egallaydi va T_1 haroratga ega bo‘lsin va bunda tiqinning o‘ng tomonida gaz yo‘q (porshen) 2 tiqin(to‘siq) tomon harakatlantirilsa). Agar g‘ovakli to‘siq orqali gaz o‘tkazilgandan keyin trubkaning o‘ng qismida (tomondagi) gaz parametrlari P_2 , V_2 , T_2 ga teng bo‘ladi.



2-rasm.

Gazning kengayishi tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvisiz sodir bo‘ladi (adiabatik). Shuning uchun termodinamikaning birinchi qonunidan kelib chiqadiki, gazning ichki energiyasining ortishi uning ustida bajarilgan ishga teng bo‘lishi kerak: $U_2 - U_1 = A'$ Bu ish A porshen 2 harakati paytidagi musbat ishdan iborat. ($A'_2 = P_2V_2$) va 1 porshen harakati paytida manfiy ish ($A'_1 = P_1V_1$). O‘rniga qo‘yib, $U_2 - U_1 = A' = A'_2 - A'_1 = P_2V_2 - P_1V_1$ yoki $U_2 + P_2V_2 = U_1 + P_1V_1$. Bu Joule-Tomson tajribasida ushbu kattalik $U + PV$ ga teng bo‘ladi va u doimiy qolishini bildiradi. PV saqlanib qoladi, bu entalpiya deb ataladi.

Nazorat savollari

1. Joule-Tomson hodisasini mohiyatini tushuntiring.
2. Eksperimental izotermalarni izohlang.
3. Real gaz deb nimaga aytiladi.
4. Gazning ichki energiyasini tushuntiring.
5. Gazlarni suyultirish haqida aytib bering.
6. Van-Der-Vaals izotermalari tushuntiring.
7. Sovitish mashinalari qanday ishlaydi?

**V BOB. MODDANING AGREGAT HOLATLARI.
SUYUQLIKLARNING UMUMIY XOSSALARI. QATTIQ JISMLARNING
TUZILISHI VA XOSSALARI.**

**5.1. Mavzu: Moddaning suyuq holati. Suyuqliklarning umumiy
xossalari, Suyuqlik sirtining xossalari. Suyuqliklarning sirt tarangligi. Sirt
taranglik kuchi. Sirt energiyasi. Ho‘llash. Kapillyar hodisalar.**

1. Moddaning suyuq holati.

Moddaning suyuq holati hamda qattiq holatlari orasidagi oralig‘ holat bo‘lib, ikkala holat bilan ma‘lum o‘xshashliklariga ega bo‘ladi. Van-der-Vaals tenglamasi faqat moddaning gazsimon holatini tushuntiribgina qolmay suyuq xolatning ba‘zi bir xossalari ham ko‘rsata oladi. Masalan: Van-der-Vaals tenglamasi moddaning suyuq holatidan gaz holatiga kritik temperatura orqali uzluksiz ravishda o‘tish imkoniyati borligini ko‘rsatadi. Kritik nuqta yaqinida gaz va suyuqlik orasidagi farq juda ham kichik bo‘ladi va suyuqlikni ma‘lum darajada zich gaz deb hisoblash mumkin. Lekin ushbu Van-der-Vaals tenglamasining o‘zi kritik temperaturadan past haroratlarda suyuq va gazsimon holatlar orasidagi farq juda ham sezilarli bo‘lishini ko‘rsatadi.

Xona harorati sharoitida, ko‘pchilik suyuqliklarning to‘yintiruvchi bug‘ning zichligi suyuqlikning zichligiga qaraganda ming marta hatto bir necha ming marta kichik bo‘ladi. Van-der-Vaals izotermalari ichida suyuqliklarning diffuziya hodisasi, gazlarga qaraganda sekin boradi. Lekin shu bilan birga, suyuqliklarning tuzilishi qattiq jismning tuzilishidan keskin farq qiladi. Qattiq jismlarning diffuziyasi deyarli bo‘lmaydi. Qattiq jismda har bir zarra (atom yoki ion) o‘z

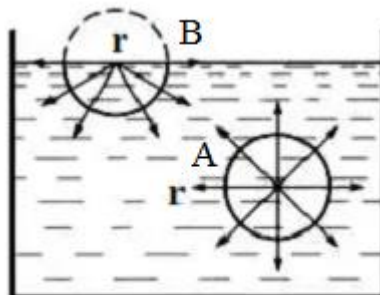
muvozanat holati atrofida tebranib turadi. Shu bilan birga qattiq kristallarning ideal panjarasida zarralar egallashi mumkin bo‘lgan barcha o‘rinlar band bo‘ladi. Suyuqlik qattiq jismga qaraganda g‘ovakroq tuzilishga ega bo‘lib, unda bo‘sh o‘rinlar teshiklar borligidan suyuqlik molekulari bir joydan boshqa joyga ko‘chishi, o‘zini tashlab boshqa qo‘shni o‘rinlardan biriga o‘tishi mumkin.

Frenklin nazaryasiga asosan suyuqliklardagi issiqlik harakatining xarakteri quyidagicha bo‘ladi: har bir molekula biror vaqt davomida ma‘lum muvozanati holati atrofida tebranib turadi. Molekula muvozanat holatini o‘zgartirib o‘z o‘lchamlaridek masofaga siljiydi. Shunday qilib molekular ma‘lum vaqt ichida ma‘lum joylarda turib, yoki Frenklen aytganidek, o‘troq holatda bo‘lib, suyuqlik ichida sekin ko‘chib yuradi. Suyuqliklarning tuzilishida qattiq jismlarning tuzilishini eslatadigan ba‘zi xususiyatlar bor.

Gazlarda molekular issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi molekular orasidagi tutinish kuchlarini engish uchun etarlidir. Buning natijasida gaz molekulari barcha tomonlariga sochilib ketadi va gaz o‘ziga solingan idish hajmi egallaydi. Suyuqliklarda aksincha, molekular issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi molekular orasidagi tutinish (tortishish) kuchini engish uchun etarli emas. Shuning uchun suyuqlik muayyan hajmga ega bo‘lgan moddadir. Suyuqlikdan faqat eng tez harakatlanuvchi molekulargina uchib chiqadi. Bu hol suyuqliklarning bug‘lanishiga olib keladi.

Biz real gazlarning xossasini tekshirganda ko‘rdikki, gazning chegarasida turgan molekular tortishish kuchlari bo‘lganligi sababli, gazning ichidagi hodisa

suyuqliklarda ham mavjuddir. Agar biz suyuqliklarda molekullarni fikran ajratib olsak, hamma boshqa molekullarning unga ta'sirini hisobga olishimiz kerak bo'ladi. Biroq molekullar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari masofa ortgan sari juda tez kamayib boradi, shuning uchun amalda etarli darajada yaqin joylashgan molekullarnigina ta'sirini hisobga olish kifoyadir



1-rasm

B molekulaga ta'sir qiladigan kuchlar o'rta hisobda o'zaro kompensatsiyalashmaydi suyuqlikning ichiga yonalgan yig'indi kuch vujudga keladi. Demak suyuqlik sirtidan molekullar ta'sir radiusi r ga qaraganda kichikroq uzoqlikda joylashgan har bir molekulaga boshqa molekullar tomonidan suyuqlik ichiga qarab yo'nalgan kuchlar ta'sir qiladi. Suyuqlikning sirt qatlamiga esa sirtga tik holda suyuqlik ichiga qarab yo'nalgan kuchlar ta'sir qiladi. Sirt qatlamining butun suyuqlikka bosimi molekulyar bosimi deb ataladi. Bu bosimning ta'sirida suyuqlikning molekullari bir-biriga yaqinlashib qoladi bu esa molekullar orasida sirt qatlam hosil qilgan siquvchi kuchlarni muvozanatlovchi itaruvchi kuchlarni kelishiga sabab bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan muloxazalardan bu bosimning tabiati Van-der-Vaals tenglamasidagi $p_i = \frac{a}{V_0^2}$ tuzatma bilan hisobga oluvchi gazlar ichki bosimi p_i ning

aynan o'zi ekanligi ko'rinib turibdi. $(P + \frac{a}{V_0^2})(V_0 - b) = RT$

Van-der-Vaals tenglamasi suyuq holatdagi moddaning xossalarini miqdoriy jihatdan to'la aks ettira olmaydi. Biroq taqribiy hisoblashlarda bu tenglamadan foydalanish mumkin. Masalan suv-havo chegarasida suv qatlamining ichki bosimini Van-der-Vaals tuzatmasidan foydalanib uni miqdoran baholash mumkin. a tuzatma $a = 5,47 \text{ atm.l}^2 / \text{mol}$ ga teng. Demak suv molekullarining ichki bosimi

$$p_i = \frac{a}{V_0^2} = \frac{5,47 \text{ atm.l}^2 / \text{mol}}{18. \text{sm}^3 / \text{mol}} = 17000 \text{ Atm bo'ladi.}$$

1.1. Suyuqlik to'g'risida asosiy tushunchalar Juda kichik miqdordagi kuchlar ta'sirida o'z shaklini o'zgartiruvchi fizik jismlar suyuqliklar deb ataladi. Ular qattiq jismlardan o'z zarrachalarining juda harakatchanligi bilan ajralib turadi va oquvchanlik xususiyatiga ega bo'ladi. Shuning uchun ular qaysi idishga quyilsa, o'shaning shaklini oladi.

Gidravlikada suyuqliklar ikki gruppaga: tomchilanuvchi (kapelnie) suyuqliklarga va gazzimon suyuqliklarga ajraladi. Suyuqlik deganda tomchilanuvchi suyuqlikni tuchunishga odatlanilgan bo'lib, ular suv, spirt, neft, simob, turli moylar

va tabiatda hamda texnikada uchrab turuvchi boshqa har xil suyuqliklardir. Tomchilanuvchi suyuqliklar bir qancha xususiyatlarga ega:

1) hajmi bosim ta'sirida juda kam o'zgaradi va siqilishga qarshiligi juda katta; 2) harorat o'zgarishi bilan hajmi oz miqdorda o'zgaradi;. 3) cho'zuvchi kuchlarga deyarli qarshilik ko'rsatmaydi; 4) sirtida molekulalararo o'zaro qovushoqlik kuchi yuzaga keladi va u sirt taranglik kuchini vujudga keltiradi.

Tomchilanuvchi suyuqliklarning boshqa xususiyatlari to'g'risida keyinchalik yana to'xtalib o'tamiz. Gazlar tomchilanuvchi suyuqliklardagiga nisbatan ham tezroq harakatlanuvchi zarrachalardan tashkil topgan bo'lib, ular bosim va temperatura ta'sirida o'z hajmini tez o'zgartiradi. Ularda cho'zuvchi kuchga qarshilik va qovushoqlik kuchi tomchilanuvchi suyuqliklarga nisbatan juda ham kam.

Gazlar bilan gaz dinamikasi, termodinamika va aerodinamika fanlari shug'ullanadi. Gidravlika kursi asosan tomchilanuvchi suyuqliklar bilan shug'ullanadi. Shuning uchun uni bundan buyon to'g'ridan-to'g'ri suyuqlik deb atayveramiz. Suyuqliklar tutash jismlar qatoriga kiradi va muvozanat hamda harakat hollarida doimo qattiq jismlar (suyuqlik solingan idish tubi va devorlari, quvur va kanallarning devorlari va boshqalar) bilan chegaralangan boiadi.

Suyuqliklar gazlar (havo) bilan ham ma'lum chegara bo'yicha ajralishi mumkin. Bu chegara erkin sirt deb ataladi.

1.2. Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar qo'yilish usuliga qarab ichki va tashqi kuchlarga ajraladi: ichki kuchlar - suyuqlik zarrachalarining o'zaro ta'siri natijasida vujudga keladi; tashqi kuchlar - suyuqlikka boshqa jismlarning ta'sirini ifodalaydi (masalan, suyuqlik solingan idish devorlarining ta'siri, ochiq yuzaga ta'sir qilayotgan havo bosimi va h.k.). Ichki kuchlar siljituvchi kuchlarga qarshilik sifatida namoyon bo'ladi va ichki ishqalanish kuchi deyiladi. Tashqi kuchlarni yuza bo'yicha va hajm bo'yicha ta'sir qiluvchi kuchlar sifatida ko'rish mumkin. Shuning uchun suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar yuza bo'yicha yoki hajm bo'yicha ta'sir qilinishiga qarab yuzaki va massa kuchlarga bo'linadi. Yuzaki kuchlar - qaralayotgan suyuqlik hajmining sirtlariga ta'sir qiluvchi kuchlardir. Ularga bosim kuchi, sirt taranglik kuchi, suyuqlik solingan idish devorining reaksiya kuchlari, ichki ishqalanish kuchi kiradi. Ichki ishqalanish kuchlari suyuqlik harakat qilgan vaqtda yuzaga keladi va qovushoqlik xususiyatini yuzaga keltiradi (avalgi paragrafqa qarang).

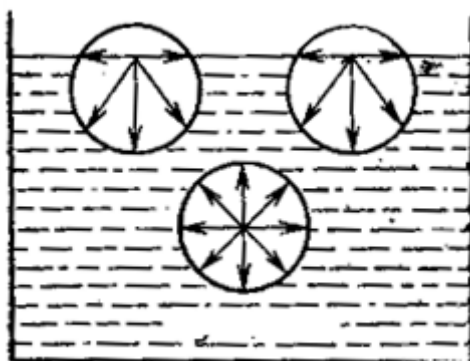
Massa kuchlar - qaralayotgan suyuqlik hajmining har bir zarrasiga ta'sir qiladi va uning massasiga proporsional bo'ladi. Ularga og'irlik va inertsia kuchlari kiradi.

Tajribalar ko'rsataadiki, suyuqliklarning hajmiy kengayish koeffitsiyenti gazlarnikiga nisbatan kichik bo'lib, xarakterli tomoni shundaki, bosim ortishi bilan hamma suyuqliklar uchun bu koeffitsiyent deyarli bir xil bo'ladi.

Umuman olganda harorat ortishi bilan suyuqliklarning issiqlik sig'imi oz bo'lsa-da ortadi, lekin C_p va C_v o'rtasida farq juda kichik bo'ladi.

Suyuqliklarning yopishqoqligi gazlarnikiga nisbatan juda katta bo'lib, harorat ortishi bilan kamayadi. Har xil suyuqliklar uchun yopishqoqlik koeffitsiyenti bir-

biridan katta farq qiladi. Masalan, uy haroratida suv yopishqoqligi glitserin yopishqoqligidan 250 marta kamdir.



2-rasm.

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. 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 molekula 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 (1-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 gaz holatdagi 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 l 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

$$F = \sigma \cdot l \quad (1)$$

ga teng bo'ladi. Bu erda σ - sirt taranglik koeffitsienti deb ataladi.

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (2)$$

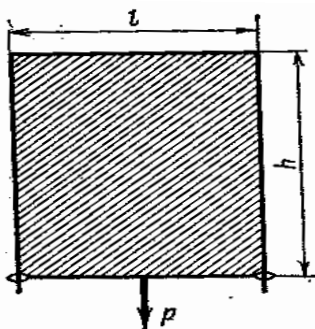
Sirt taranglik koeffitsienti suyuqlik sirtida olingan kesmani to'g'ri yoki egriligiga bog'liq emas.

Sirt taranglik koeffitsientiga quyidagicha ham ta'rif berish mumkin. Buning uchun quyidagicha tajribani taklif etamiz: simli ramkaga (2-rasm) uning chet yo'nalishlarida erkin harakat qila oladigan engil 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 erda l ramkaning eni. Uzunlik ikkilanganligiga sabab shuki, plyonka xuddi qog'oz varag'iday ikki sirtga ega bo'ladi. Sirt taranglik kuchini muvozanatlash uchun ramkaga P yuk osiladi. Muvozanat vaqtida $P=2\sigma l$ bo'ladi. Agar yuk tortilmaydigan plyonkaga qo'yilgan bo'lsa, u holda muvozanat holga kelish uchun plyonkani Δh kattalikka tortadi. Bunday holda tortish ishi $\Delta A=P\Delta h=2l\sigma\Delta h=\sigma\Delta S$ bu erda $\Delta S=2l\Delta h$ - plyonka sirtining o'sishi. Bunda

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (3)$$

Demak, sirt taranglik koeffitsienti - birlik suyuqlik sirtini hosil qilish uchun sarflangan ish yoki bu kattalik suyuqlik birlik qatlamining erkin energiyasidir. (3) formuladan ko'rinadiki, sirt taranglik koeffitsientining birligi N/m. larda o'lchanadi. Tortish ishi A sirtning to'liq energiyasiga teng bo'lmaydi. Suyuqlik sirti adiabatik tortilganda, soviydi. Suyuqlik sirti izotermik tortilganda A ish bajarish bilan birga Q issiqlik miqdori ham zarur bo'ladi. Bunda suyuqlik sirtining to'liq energiyasi termodinamika 1-qonuniga ko'ra $U=Q+A$ bo'ladi.

A kattalik sirtning erkin energiyasi deyiladi, ya'ni suyuqlik sirti qisqarganda potensial energiya boshqa energiyaga o'tadi yoki suyuqlikning ko'chishiga sarflanadi.



3-rasm. Suyuqlik sirtining hosil bo'lishi.

Yuqoridagi tajribadan suyuqlik sirtining tortilishi eritmalar uchun o'rinli. Toza suyuqliklar uchun bunday tajribani o'tkazib bo'lmaydi. Toza suyuqlik plyonkasi tortilishi bilan sirt taranglik koeffitsienti o'zgarmaydi va aks ta'sir kuchi doimiy saqlanadi.

Farqli ravishda qattiq jismda aks ta'sirlovchi deformatsiya kuchi Guk qonuniga asosan deformatsiyaga mutanosib ortadi. Toza suyuqlik plyonkasining tortilishida muvozanat turg'un emas. Agar tortilish kuchi sirt taranglik kuchiga teng bo'lsa, muvozanat turg'un bo'ladi. Sirt taranglik koeffitsienti σ ning kichik o'zgarishda (masalan harorat T ning o'zgarishi) ham muvozanat buziladi. Moddaning faqat sirti-faol eritmalarda turg'un muvozanat kuzatiladi.

Suyuqlik sirt taranglik koeffitsienti katta oraliqlarda o'zgaradi. Suv uchun $\sigma=73 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$, sovunli eritma uchun $\sigma=45 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$, efir uchun $\sigma=23 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$, eritilgan tuzlar uchun $\sigma=10^{-3} \text{ N/sm}$ eritilgan metallar uchun $\sigma=10^{-2} \text{ N/sm}$ masalan, erigan platina uchun $\sigma=1,7 \cdot 10^{-3} \text{ N/sm}$ bo'ladi. Siqilgan gazlar uchun σ katta emas, masalan: suyuq azot uchun $\sigma=8 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}$. Har xil suyuqliklar uchun σ ning qiymati 1 dan 2000 gacha bo'ladi.

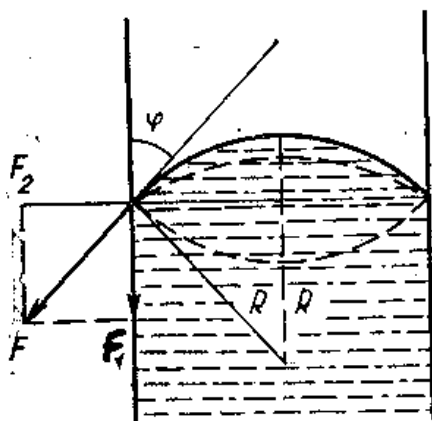
Sirt taranglik kuchining asosiy xossalaridan biri suyuqlik sirtini qisqarishiga intilishidir. Bunda **suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi, agar og'irlik kuchi to'sqinlik qilmasa**. Og'irlik kuchi ta'sirini yo'qotish uchun suyuqlik boshqa bir xil zichlikdagi suyuqlikka solinadi. Bunda solingan suyuqlik tomchisi sfera shaklini oladi.

Bir suyuqlik tomchisining ikkinchi suyuqlik sirtidagi o'zini tutishini ko'rib chiqamiz (5-rasm). Suyuqliklar o'zaro aralashmasliklari kerak. Tomchisi engilroq 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 sirtini 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 gorizontalsirtida 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 gorizontalsirti 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_{sb} orqali aniqlaniladi. f_2 kuch qattiq jism suyuqlik chegarasida vertikal pastga yo'nalgan bo'lib, sirt taranglik σ_{qs} bilan aniqlaniladi. Suyuqlik berilgan qattiq jismni ho'llash yoki ho'llamasligi f_2 va f_3 demak, σ_{qs} bilan σ_{qb} o'rtasidagi muosabatga bog'liqdir. Bunda ikki xil hol bo'lishi mumkin:

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.

Suyuqlik sirtining egriligi natijasida suyuqlikda *Laplas bosimi* deb nomlangan bosim vujudga keladi. Shu hodisa bilan tanishib chiqaylik.



4-rasm.

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:

$$P = \frac{\sum F_1}{\pi r^2} \quad (4)$$

4-rasmdan $F_1 = F \cos \varphi$; $F = 2\pi r \sigma$ ekanini hisobga olsak,

$$P = \frac{2\pi r \sigma}{\pi r^2} \cos \varphi = \frac{2\sigma}{r} \cos \varphi \quad (5)$$

$\cos \varphi = \frac{r}{R}$ ekanini hisobga olsak,

$$P = \frac{2\sigma}{R} \quad (6)$$

bo'ladi. Bu formulaga Laplas formulasi deyiladi va sirt taranglik koeffititsiyenti, sirt egrilik radiusi R bo'lgan suyuqlikda hosil bo'layotgan qo'shimcha bosimni ifodalaydi.

Ho'llovchi suyuqlik uchun ham bu formula o'rinli bo'lib, bosim kuchi suyuqlik ichidan sirt tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shunday qilib, Laplas bosimi hisobiga ho'llovchi suyuqliklar cho'zilsa ho'llamaydigan suyuqliklar siqiladi. Agar ichki radius R_1 , tashqi radiusi $R_2 \approx R_1 \approx R$ bo'lgan qatlamli pufakcha qaralayotgan bo'lsa, Laplas bosimi quyidagicha ifodalanadi:

$$P = \frac{2\sigma}{R_2} + \frac{2\sigma}{R_3} = \frac{4\sigma}{R} \quad (7)$$

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.

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 gorizontol (Laplas bosimi nol) bo'lmay, uning egrilik radiusi naycha radiusiga deyarli teng (Laplas bosimi katta) bo'ladi.

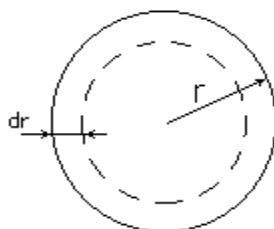
Kapillyarlik hodisasi tabiatda keng tarqalgan bo'lib, ko'pgina jarayonlarda hal qiluvchi rolni o'ynaydi. Masalan, kapillyarlik asosida erdagi suyuqlik o'simlikning shox va barglariga ko'tariladi. To'qimalar kapillyar naychalarni hosil qiladi. Daraxt ildizida kapillyar naychalar bo'lib, bular orqali suyuqlik ko'tariladi va o'simlik tanasi bo'yicha tarqaladi. Qotgan erda kapillyar naychalari hosil bo'lib, ulardan chuqurlikdagi suv ko'tarilib, bug'lanish sodir bo'ladi.

Tez bug'lanishni oldini olish uchun er 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.

Faraz qilaylik shar shaklidagi suyuqlik bu bosim ta'sirida o'z hajmini 1-rasmda ko'rsatilgandek dV ga kamaytirgan bo'lsin. Bunda bajarilgan ish suyuqlik sirt energiyasining kamayishi hisobiga bo'ladi.



5-rasm

Siqish ishi $dA = PdV$ (8) bo'ladi. Sirt energiyasining kamayishi esa $dF = \sigma \cdot dS$ (9)

ga teng. Shar hajmining va sirtining uning radiusini dr ga kamayishiga mos keluvchi o'zgarishlari quyidagilarga teng bo'ladi: $dS = 8\pi r dr$, $dV = 4\pi r^2 dr$ (10)

Bu qiymatlarni (8) va (9) tenglamalarga qo'yib, hamda $dA = |dF|$ ekanini nazarga olib quyidagini olamiz:

$$P4\pi^2 dr = \sigma 8\pi r dr \quad (11)$$

Bundan suyuqlikka uning egri sirti ko'rsatayotgan bosim uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$P = \frac{2\sigma}{r} \quad (12)$$

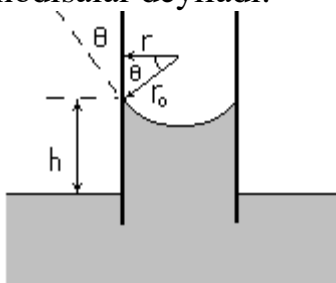
Agar suyuqlik sirti silindrik shaklda bo`lsa, u holda qo`shimcha bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P = \frac{\sigma}{r} \quad (13)$$

Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bog`liq bo`lgan qo`shimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (14)$$

Bu erdagi r_1 va r_2 - sirtning berilgan nuqtasidagi yoki aniqrog`i sirtning shu berilgan elementi uchun asosiy egrilik radiuslari. Laplas bosimining ta`siri kapillyar idishlarda sezilarli bo`ladi. Bunday idishlarda suyuqlik sirtining egrilik radiusi suyuqlik solingan idishning o`lchamlari tartibida bo`ladi. Kapillyar idishlarda bo`ladigan hodisalar kapillyar hodisalar deyiladi.



6-rasm

Kapillyarlik bilan bog`liq bo`lgan eng xarakterli hodisalardan biri suyuqlikning kapillyar nayda ko`tarilishidir (2-rasm). Bu rasmda suyuqlikli keng idishga tushirilgan ingichka naycha tasvirlangan. Bunday r - naychaning radiusi, r_0 - suyuqlik sirtining egrilik radiusi. Sirtning egriligidan hosil bo`lgan bosim tufayli naychadagi suyuqlik yuqoriga qarab yo`nalgan 2-rasm

$$P = \frac{2\sigma}{r_0} \quad (15)$$

Quyidagi
$$\rho gh = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (16)$$

tenglik muvozanat sharti bo`ladi, bu erdagi ρ - suyuqlik zichligi, g - og`irlik kuchining tezlanishi. Bu formuladan suyuqlikning nayda ko`tarilish balandligi uchun quyidagini olamiz:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho gr} \quad (17)$$

Agar chegaraviy burchak θ o`tkas bo`lsa, ya`ni suyuqlik kapillyarni ho`llamasa, h kattalik manfiy bo`ladi. Chunki, Laplas bosimi pastga qarab yo`nalgan bo`ladi. Shu sababli suyuqlikning kapillyar ko`tarilishi emas, balki pasayishi yuz beradi.

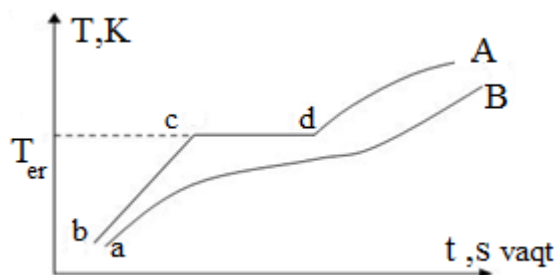
Sinov savollari

1. Joul-Tomson hodisasini mohiyatini tushuntiring.
2. Eksperimental izotermalarni izohlang.
3. Real gaz deb nimaga aytiladi.

4. Gazning ichki energiyasini tushuntiring.
5. Gazlarni suyultirish haqida aytib bering.
6. Van-Der-Vaals izotermalari tushuntiring.
7. Sovitish mashinalari qanday ishlaydi?

**5.2. Mavzu: Moddaning agregat holati. Moddaning agregat holati.
Plazma. Erish va qotish (kristallanish). Bug‘lanish va kondensatsiya.
Sublimatsiya. Qaynash. Havoning namligi**

Kristall va amorf jismlar erish vaqtida, Ya'ni qattiq holatdan suyuq holatga o'tish vaqtida o'zlarini turlicha vaziyatda tutadilar. Har bir kristall jism tomomila aniq erish nuqtasiga ega bo'ladi. 12.1-rasmdagi A chiziq tekis isitish bilan eritilayotgan kristall jism temperaturasi vaqt o'tishi bilan o'zgarishini ifodalaydi. Chiziqning bc qismi qattiq holatdagi kristallning qizish jarayoni tasvirlaydi. Erish temperaturasi T_{er} ga etganda jismning isishi to'xtaydi, chunki berilayotgan issiqlikning hammasi jismning qattiq holatidan suyuq holatga o'tishi (erish issiqligi) uchun sarflanadi (cd soha). d nuqtada jismning to'la suyuq holatga o'tgan payti mos keladi. Chiziqning yuqoriga ko'tariluvchi oxirgi qismi suyuqlikning isishiga tegishlidir.



1-rasm. Kristall qattiq jismni (A) va amorf jismni (B) eritishda temperaturaning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi.

Muzning erishi bunday proses uchun misol bo'ladi: erish vaqtida muz butunlay suvga aylanguncha uning temperaturasi o'zgarmaydi, hamma vaqt 0°S ga teng bo'lib turadi. Amorf jism temperaturasi vaqt o'tishi bilan o'zgarishi ko'rsatuvchi chiziqda (3-rasm, V egri chiziq) amorf jismning yumshash intervaliga mos keluvchi burilishgina mavjuddir; amorf jism qattiq holatdan suyuq holatga uzluksiz ravishda o'tadi. Bu holatdan, umuman, amorf qattiq jism juda ham yopishqoq suyuqlikka o'xshaydi. SHisha, har xil shishasimon moddalar, smolalar, bitumlar va boshqalar amorf jismlarning namunalari bo'la oladi. Keyingi paytlarda polimerlar deb ataladigan gruppalarni tashkil etuvchi organik birikmalardan iborat bo'lgan amorf moddalar alohida diqqatni o'ziga jalb qilmoqda.

Erish va eritmada kristallanish. Vodorod atomining massasi yana ham kichik bo'lgani uchun unda nolinchii energiya yana ham katta rol uynashi kerak. Haqiqatdan ham, vodorod atomlarining nolinchii energiyasi geliynikidan katta. Biroq hozirgina ko'rganimizdek, nolinchii energiya bilan zarralarning o'zaro ta'sir energiyasi orasidagi nisbat hal qiluvchi rol uynaydi. Zarralarning o'zaro ta'sir energiyasi esa vodorod atomlarida geliy atomlaridan ko'ra ko'prok bo'ladi. Mikdoriy baholash shuni ko'rsatadiki, qattik vodorodda nolinchii energiya to'la

energiyaning yarmiga teng, geliyda esa uning ulushi 80 % ga etadi. Geliyning suyulish temperaturasining past bo'lishi va odatdagi sharoitlarda uning kristallanmasligining sababi shu hol bilan tushuntiriladi. Nolinchi energiya geliyning engil Ne^3 izotopida yana ham katta rol uynaydi. Unda nolinchi energiya tula energiyaning 95 % ini tashkil qiladi. SHuning uchun Ne^3 ning suyulish temperaturasi (normal bosimda) yana past bo'ladi (u 3,2 K ga teng, odatdagi geliyda esa 4,2 K ga teng zid). Ne^3 ning kristallanishi uchun Ne^4 ga qaraganda yana ham katta bosim kerak bo'ladi, absolyut nolda bu bosim 29 atm dan ortiq bo'ladi.

Bug'lanish. Kondensatsiya. To'yingan bug'. Namlik

Molekulyar kinetik nazariyadan ma'lumki, suyuqlik molekulari betartib issiqlik harakatida bo'ladi. Ayrim molekularning tezligi kattaroq bo'lsa, boshqalariniki kichikroq bo'lib, molekularining kvadratik o'rtacha tezligi suyuqlik haroratining qiymatiga mutanosib bo'ladi. Molekular betartib harakat qilishi natijasida suyuqlik ichki qismidagi molekular suyuqlik sirtiga kelib, suyuqlik sirtidagi molekular bilan o'rin almashishadi. Shunday qilib, suyuqlik sirtidagi va ichki qismidagi molekular uzluksiz almashinib turadi.

Suyuqlik ichki qismidan suyuqlik sirtiga kelgan molekular 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'sirni engisjga sarflanib, **bug'lanish ishi** (A_6) deb yuritiladi. Bu ish molekularning kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Kinetic energiya tezlikka bog'liqligini hisobga olsak, molekula bug'lansin uchun umuman tezligi emas, shu tezlikni suyuqlik sirtiga tik tashkil etuvchisi v_n rol o'ynaydi. Shunday qilib, qaysi molekula uchun $\frac{mv_n^2}{2} > A_b$ (1) shart bajarilsa shu molekula suyuqlikni tashlab ketadi. Suyuqlikdan chiqqan har bir molekula o'zi bilan $\varpi = \frac{3}{2}kT$ issiqlik harakati energiyasini olib ketar ekan, natijada suyuqlik soviydi. Shunday qilib, o'zgarmas haroratda suyuqlik 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_i bilan belgilaylik .

Bu ishdan tashqari suyuqlikda ma'lum V_c hajmni egallab turgan molekular 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.

Suyuqlik sirtining birlik yuzasidan birlik vaqtda chiqayotgan molekular 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 molekular sirtidan deyarli qaytmay suyuqlikka o'tadi. Har bir birlik yuza orqali birlik vaqtda bug'dan suyuqlikka o'tayotgan molekular soni **bug'ning kondensatsiyalanish intensivligini** ko'rsatadi.

Qattiq jismlarning bug`lanishi **sublimasiya** deb ataladi. Ko`p qattiq moddalar sezilarli darajada bug`ga aylanmaydi. Lekin, shunday kristall moddalar ham borki, ular sezilarli darajada bug`lanib turadi. Bunga misol qilib naftalin bilan kamforani ko`rsatish mumkin. Muz ham shunday xossaga ega. Shuning uchun sovuqda tashqariga ilib quyilgan ho`l kiyim-bosh avval muzlab, so`ng bir qancha vaqtdan keyin quriydi, demak muz bug`lanib ketadi. Sublimasiya yuz berishiga sabab shuki, vaqti - vaqti bilan kinetik energiyasi tutinish kuchlarini engishga etarli bo`lgan atom yoki molekulalar jism sirtidan ajralib chiqib, atrofdagi gaz atmosferasiga ketib turadi.

Sublimasiya qonunlari suyuqliklarning bug`lanish qonunlariga o`xshash. Sublimasiya issiqligi erish issiqligi bilan bug` hosil qilish issiqliklarining yig`indisiga teng bo`ladi. Qattiq jismning bug`lanuvchi zarralari qattiq jism sirtida bug` hosil qiladi. Ma`lum bosim va temperaturada bug` va qattiq jism muvozanatda bo`lishi mumkin. Qattiq jism bilan muvozanatda bo`lgan bug` ham to`yingan bug` deb ataladi. Suyuqliklardagi singari, qattiq jism ustidagi to`yingan bug`ning bosimi ham temperaturaga bog`liq bo`ladi va temperatura pasayishi bilan tez kamayadi.

Biz suyuq gazsimon holatlarning qattiq holatga o`tishi, Ya`ni kristallanish va aksincha o`tish –erish va qaynashni ko`rdik. Avval VII bobda suyuqlikning bug`ga o`tishini- bug`lanishni va aksincha o`tish- kondensatsiyani ko`rdik. Bu barcha fazaviy o`tishlarda jism yoki tegishli o`tishning yashirin issiqligi (Erish isiqqligi, bug`lanish issiqligi va h.k) sifatida energiya ajratadi yoki energiya yutadi. Energiyaning yoki energiya bilan bog`lik bo`lgan boshqa kattaliklar, masalan, zichlikning sakrashsimon o`zgarishi bilan bo`ladigan fazaviy o`tishlar birinchi tur fazaviy o`tishlar deb ataladi.

Birinchi tur fazaviy o`tishlar uchun modda xossalariining sakrashsimon, Ya`ni juda qisqa temperaturalar intervalida o`zgarishi xarakterlidir. Binobarin, aniq o`tish temperaturasi yoki o`tish nuqtasi haqida , masalan, qaynash nuqtasi, erish nuqtasi va xokazo haqida gapirish mumkin.

Fazaviy o`tishlar temperaturalari tashqi parametr - p bosimga bog`liq; berilgan temperaturada o`tish sodir buladi. Fazaviy muvozanat chizig`i bizga ma`lum bulgan Klapeyron-Klauzius tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)} , \quad (2)$$

bu erda L-o`tish molyar issiqligi, V_1 va V_2 har ikkala fazaning molyar hajmlari.

Faza deb sistemaning qolgan qismidan ma`lum chegara bilan ajralgan makroskopik bir jinsli modda qismiga aytiladi. Masalan, biror idishda suv turibti, uning ustida esa ma`lum miqdorda havoning suv bug`lari bilan aralashmasi bor. Demak, bu sistema ikki fazadan: suyuqlik va gazsimon fazadan iborat. Shu suvga biroz muz tashlaymiz. Endi uchta faza hosil bo`ldi: qattiq jism, suyuqlik, gaz. Agar shu suvga spirt qo`shsak, u suvga qo`shilib birjinsli moddani hosil qiladi. Bunda spirt fazani hosil qilaolmadi. Shu suvga simob solsak, endi biz ikki suyuqlikli fazalarni hosil qilgan bo`lamiz. Agar suvga biroz osh tuzi solsak, muz bilan birga yana birta qattiq faza vujudga keladi.

Sistemada bir nechta suyuq yoki qattiq faza bo'lishi mumkin. Lekin gaz fazasi bittadan ortiq bo'lmaydi. Chunki hamma gazlar o'zaro qo'shib ketish xossalriga egadirlar. Fazalarni muvozanatda bo'lishligi deganda mexanik, issiqlik va fazalarning o'zaro almashinuviga nisbatan muvozanatlarni tushinamiz. Mexanik muvozanat mavjud bo'lishligi uchun fazalarning barchalarini hamma tomonlaridan ta'sir etadigan bosimlar bir xil bo'lishi kerak. Bu muvozanat tekis sirtli fazalarda aniqroq bajariladi, egri sirtli fazalarda to'liq bajarilmaydi. Issiqlik muvozanati mavjud bo'lishi uchun fazalarni barchasini temperaturasi bir xil bo'lmog'i zarur.

Bir-biroviga tegib turgan fazalar bir-biroviga aylanishi mumkin. Bunga fazaviy aylanishlar deyiladi. Fazaviy aylanishlar davrida bir faza kamaysa, ikkinchisi oshib boradi. Muvoznat holat bo'lishi uchun hamma fazalar massalari bir xil qolishi kerak. Fazaviy aylanishlarga misol qilib moddalar agregat holatlarini o'zgarishlarini ko'rsatish mumkin. Agregat holatlar: qattiq, suyuq va gaz holatlaridir. Har qanday 1 va 2 faza orasidagi fazaviy muvozanat – bu fazaviy o'zgarishlar to'liq tugallanadigan statistik holat bo'lmasdan balki, ikkita qarama-qarshi prosesning borishi o'rtacha tezligi bilan ya'ni 1 fazani 2 fazaga va aksincha 2 fazani 1 fazaga aylanishi tezligi bilan xarakterlanadi. Fazaviy aylanishlarga misollar sifatida suyuqliklarni bug'lanishi erishini va sublimasiyani ko'rsatishimiz mumkin. Suyuqlikning gazzimon holatga o'tishi bug'lanish hodisasidir. Bug'lanish har qanday temperatura sharoitida ham bo'ladi. Lekin temperatura yuqori bo'lsa u tezroq boradi. Bug'lanish vaqtida suyuqlik ichidan energiyalari nisbatan kattaroq bo'lgan molekulalar bog'lanish (tortishish) kuchlarini engib suyuqlik sirtini tashlab chiqadilar. Bug'lanayotgan suyuqlikni temperaturasini bir xil saqlash uchun unga issiqlikberish kerak. Bu issiqlik suyuqlikni temperaturasini oshirmaydi, balki bug'lanishga sarf bo'ladi.

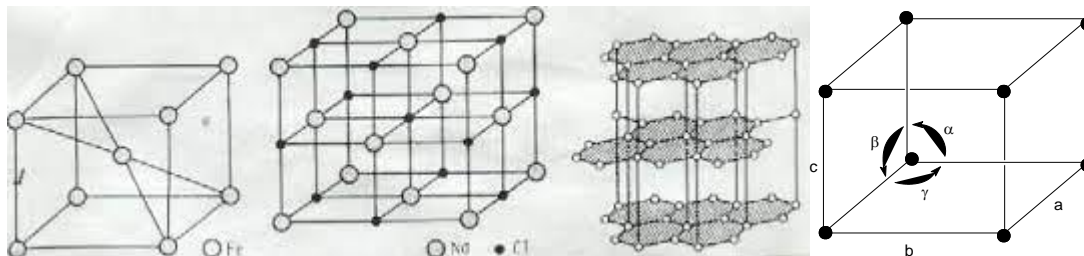
Nazorat savollari

1. Joul-Tomson hodisasini mohiyatini tushuntiring.
2. Eksperimental izotermalarni izohlang.
3. Real gaz deb nimaga aytiladi.
4. Gazning ichki energiyasini tushuntiring.
5. Gazlarni suyultirish haqida aytib bering.
6. Van-Der-Vaals izotermalari tushuntiring.
7. Sovitish mashinalari qanday ishlaydi?

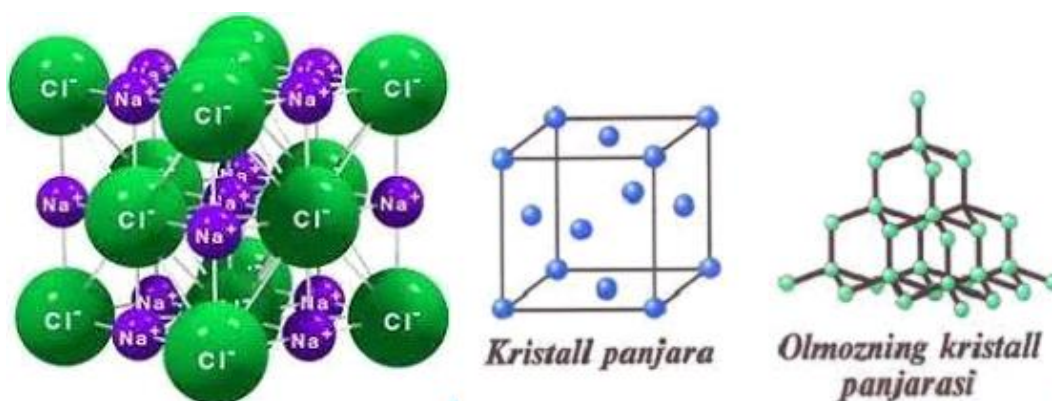
5.3. Mavzu: Qattiq jism. Kristallik va amorf jismlar. Kristallar anizotropiyasi. Kristall panjara. Polikristall va monokristallar. Kristall defektlari. Kristallarda dislokatsiya. Qattiq jismlarning mexanik xossalari Elastik deformatsiya.

Qattiq jismlar bir-biridan o'zlarining fizik xossalari bilan keskin farqlanadigan ikki turga, ya'ni kristall va amorf jismlarga bolinadi. Kristall jismlar ham o'z novbatida polikristall va monokristall jismlarga ajraladi. Polikristallar ko'p kristallardan tashkil topgan. Monokristallarning asosiy alomati uning atomlari tartibli joylashgan bo'lib, muntazam geometrik shaklda bo'lishidir. Masalan qor uchquninig muntazam geometrik naqshlar hosil qilishni va qor uchqunining

muntazam shaklga ega bo'lishini hamma biladi. Shuningdek, deraza oynasida, suv muzlaganda muz kristallari muntazam geometrik shaklda bo'ladi. Demak monokristallarda atom yoki molekular (zarrachalar) fazoda shunday tartib bilan joylashganki, shu atom zarralarini bir-biri bilan xayoliy chiziqlar bilan tutashtirsak, aniq geometrik shaklni hosil qiladi.



1-rasm. Kristall panjaralar



2-rasm. Turli moddalarning kristall panjaralari

Kristallarning asosiy xususiyati uni tashkil qilgan zarralarning (atomlar, molekular yoki ionlarning) fazoda tartib bilan joylashganligidir. Fazoda tartib bilan joylashgan bunday atomlar (yoki boshqa zarralar) to'plamidan tashkil topgan strukturaga **kristall panjara** deb ataladi. Atomlarning o'zi joylashgan nuqtalarni (aniqrog'i, ularni muvozanat holatlarida joylashgan nuqtalarini) kristall **panjara tugunlari** deyiladi. Kristall panjara "katakchalardan" tashkil topgan. Katakcha (yoki **elementar yacheyka**) kristall panjaraning shunday eng kichik qismiki, uni o'z-o'ziga parallell ko'chirish orqali butun kristall panjarani hosil qilish mumkin.

Kristall holatdagi jismlarning asosiy xususiyati ularda anizotropiyaning mavjud bo'lishidir. Anizotropiya deb monokristallarning turli yo'nalishlarda fizikaviy xossalarni turlicha bo'lishiga aytiladi. Masalan, kristallarda turli yo'nalishlarining fizikaviy xossalari (issiqlikdan kengayishi, mexanik, elektrik va optik) turlicha bo'ladi. Biroq amorf jismlar izotrop bo'ladi, ya'ni ularning fizikaviy xususiyatlari barcha yo'nalishlarda bir xil o'tadi.

Polikristallar ham izotrop jismlardir. Kristalik panjarani tashkil etgan zarrachalar muvozanat (панжара тугунида) ҳолати атрофида тебранма ҳаракатда bo'ladilar.

Tekshirishlar hammasi bo'lib simmetriya belgilariga ko'ra 32 simmetriya sinfiga birlashtiriluvchi 230 ta fazoviy gruppalar mavjud ekanini ko'rsatadi.

Kristalli jismlarning simmetriyasi uning simmetriya operatsiyalari deb ataladigan o‘rin almashtirishlarida o‘z-o‘zi bilan ustma-ust tushish xossalarini ifodalaydi. Simmetriya almashtirishlariga quyidagilar kiradi:

1) jismning barcha nuqtalarini ma’lum masofaga parallel ko‘chirish-translyasiya;

2) jismni biror o‘q (simmetriya o‘qi) atrofida biror burchakka burilishi;

3) simmetriya tekisligida akslanishi;

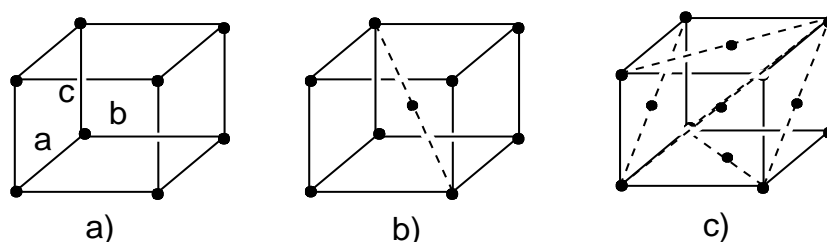
4) inversiya yoki nuqtada (simmetriya markazida) akslanish va bunday almashtirishlarning barcha kombinatsiyalari. Simmetriya o‘qi, simmetriya tekisligi, nuqtalar (simmetriya markazi) va boshqalar simmetriya elementlari deyiladi. Biror kristall panjara ega bo‘lgan barcha simmetriya elementlari to‘plami bu panjaraning **fazoviy guruhi** deyiladi.

Simmetriya elementlari turli kristallarda turlicha kombinatsiyada uchraydi. Simmetriya elementlarining mumkin bo‘lgan har bir kombinatsiyasi **simmetriya sinfi** deb ataladi va bunday kombinatsiyalarning umumiy soni 32 ta. Elementar yacheykalarining shakliga qarab kristallar 7 ta simmetriya sistemasiga ajratiladi.

Yacheykalar qirralarini (13.1-rasm) a, b, c lar bilan, qirralar orasidagi burchaklarni α , β , γ lar bilan belgilaymiz. Yettita kristallografik sistemalar elementar yacheykalarining parametrlari quyidagicha:

- | | | |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|
| 1) kubik | $a=b=s$; | $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ |
| 2) tetragonal | $a=b\neq s$; | $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ |
| 3) rombik | $a\neq b\neq s$; | $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ |
| 4) romboedrik | $a=b=s$; | $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^0$ |
| 5) geksagonal | $a=b\neq s$; | $\alpha=\beta=90^0, \gamma=60^0$ |
| 6) monoklin | $a\neq b\neq s$; | $\alpha=\gamma=90^0, \beta\neq 90^0$ |
| 7) triklin | $a\neq b\neq s$; | $\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^0$ |

Yuqorida qayd qilib o‘tilgan panjaralar ichida eng simmetrigi kubik sistemaga kiruvchi panjaradir.



3-rasm

Ulardan birinchisi (3a-rasm) oddiy kubik panjara, ikkinchisi (3b-rasm) hajmiy va uchinchisi (3c-rasm) yoqlari markazlashgan kubik panjara deb ataladi.

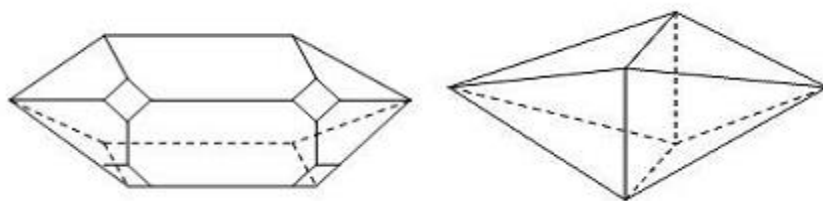
Metallarda kristall panjaraning tugunlarida metall atomining musbat ionlari joylashgan bo‘lib, ular orasida erkin elektronlar harakatlanib yuradi. Molekulalardan tashkil topgan ba’zi moddalarning kristall panjarasi tugunlarida molekular joylashgan. Ko‘pchilik kimyoviy birikmalar (masalan, osh tuzi NaCl, xlorli seziiy CsCl, flyuorit CaF₂, kuprit Cu₂O, rutil TiO₂) kristall panjaralarining tugunlarida ionlar joylashgan.

Kristalllardagi turli tekisliklar va yo‘nalishlarni farqlash uchun maxsus koordinatalar sistemasidan foydalaniladi. Buning uchun panjara tugunlaridan biri

koordinata boshi qilib, panjara elementar yacheykasining mos qirralarini esa koordinata o‘qi qilib olinadi. Bunday sistemada koordinatalar mos yo‘nalishdagi atomlararo masofalarga teng bo‘lgan birliklarda o‘lchanadi. Bunday uzunlik birliklarini o‘q bo‘yicha birliklar deyiladi va bu birliklar turli koordinata o‘qlari bo‘yicha turlicha bo‘ladi.

O‘zaro parallel bo‘lgan tekisliklardagi tugunlar zichligi bir xil bo‘lganligi uchun ularni bir xil maxsus **Miller indeksleri** bilan belgilash qabul qilingan. Bu indekslar quyidagicha topiladi: kristall tekislikning koordinata o‘qlari bilan kesishgan uchta nuqtasining koordinatasi aniqlanadi. Bu sonlarning teskari qiymatlari bitta umumiy maxrajga keltiriladi. U holda kasrning suratlari Miller indekslarini beradi. Masalan, koordinata o‘qlarini 4, 1, 2 nuqtalarda kesib o‘tuvchi tekislik uchun bunday amal quyidagi 1, 4, 2 sonlarini beradi va bu tekislik simvolik ravishda (1 4 2) ko‘rinishda belgilanadi. Agar kristall tekislik koordinata o‘qlaridan biriga parallel bo‘lsa, u holda bu koordinataga tegishli Miller indeksi nolga teng bo‘ladi. Masalan, koordinatalari 1,1 va ∞ bo‘lgan tekislikning Miller indeksleri mos ravishda 1,1 va 0 bo‘ladi.

Odatda, yoqlar bir-biriga nisbatan simmetrik ravishda joylashadi. Kvars, masalan olti yoqli piramidalar bilan tugallanuvchi olti yoqli prizmadan iborat bo‘lgan kristallar hosil qiladi (1-rasm)



3a,b-rasm.

Achchiq tosh oktaedrlar shaklida 3a,b-rasm. tosh tuz esa kublar shaklida kristallanadi va hokozo. Ma’lum bir kristall moddaning har xil namunalarida yoqlar orasidagi burchaklar mutlaqo birday bo‘ladi. Masalan, tosh tuzning kristallari o‘zaro tik bo‘lgan tekisliklar bo‘yicha parallelepiped shaklidagi bo‘laklarga ushaladi; slyuda osonlik bilan yupqa qamlatlarga ajraladi.

Monokristallar tabiiy holda qovariq qirralarga egaki, bu qirralar bir – biroviga simmetrikdir. Yoqlar orasidagi burchaklarning hammasi bir xil bo‘ladi. Masalan kvori kristallarida prizma va piramida yoqlari orasidagi burchak hamma vaqt $38^{\circ}13'$ ga teng bo‘ladi.

2. Kristall jismlar ikki guruhga bo‘linadi: monokristallar va polikristallar. Kristall tuzilish faqat yirik yakka kristallardagina bevosita seziladi. Kristallarning anizotropligiga sabab zarralarining (atomlar, molekulalar, ionlar) fazoviy panjara hosil qilib batartib joylashganligidir. Har uchala yo‘nalish bo‘yicha ham zarralar joylashuvining davriy ravishda takrorlanishi bilan xarakterlanuvchi tuzilish kristall panjara deyiladi.

E.S.Fedorov kristallarning simmetriyasini eng umumiy holda tekshirib zarralarning kristallarda 230 xil usulda joylasha olishligini ko‘rsatdi. Kristallning tashqi simmetriyasi uni joylashishining oqibatidir. Bu g‘oya 18 acrning oxiridayoq

aytilgan edi. Hozir biz kristallarda atomlar bir-biriga nisbatan simmetrik ravishda fazoviy panjara tashkil qilib joylashganligini bevosita isbot qilamiz. Bu isbot kristall panjarada rentgen nurlarining difraksiyasini hosil qilish mumkinligiga asoslangan.

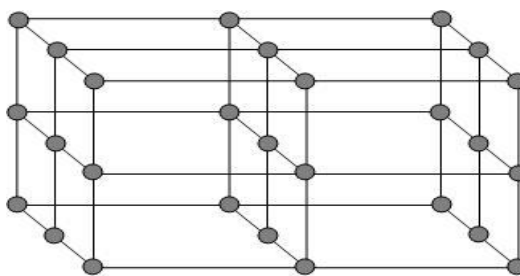
Shunday qilib, kristall murakkab arxitektura qurilishidan iborat bo‘lib, uning mustahkamligini ichki simmetriyasi ta‘minlaydi. Kristallni tashkil qiluvchi atomlarning o‘zaro ta‘sir kuchlari turli xarakterga ega. Tuzlarning kristallarida elektrlangan atomlar, ionlar bo‘ladi. Musbat va manfiy ionlar shunday navbatmanavbat joylashadiki, natijada butun kristall neytron bo‘ladi. Bunday ion panjarada yoki boshqacha aytganda, geteropolyar panjarada zarralar orasidagi o‘zaro ta‘sir kuchlari asosan elektrostatik kuchlar bo‘ladi.

4-rasmda osh tuzining (NaCl) kubik panjarasi tasvirlangan; bunday panjara eng sodda panjara bo‘lib, kubik sistemaga kiradi. Natriy atomlari qora doirachalar bilan tasvirlangan, ulr musbat elektr zaryadigan ega, Ya‘ni ular musbat ionlar bo‘ladi. Xlor atomlari oq doirachalar bilan tasvirlangan, ular manfiy ionlardir. Ximiyaviy sodda qattiq jismlarda fazoviy panjarani tashkil qiluvchi atomlarning hammasi neytral bo‘ladi. Bunday kristallning panjarasi atom panjarasi yoki Gomeopolyar panjara deb yuritiladi. Atom panjaradagi o‘zaro ta‘sir kuchlarning tabiati faqat kvant mexanikasi asosidagina to‘la-to‘kis tushuntirib berilishi mumkin. Atomlar faqat yoqlarning uchlarida joylashgan holda Brave panjarasi yoqlari markazlashgan deb, yoqlarning markazida joylashgan holda esa hajmiy markazlashgan panjara deb ataladi. Hammasi bo‘lib 14 xil Brave panjaralari bor. Kristallar 7 sistemaga bo‘linadi.

3. Kristall panjaraning potensial energiyasi E_r quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$E_p = -\frac{C'}{r^k} + \frac{C''}{r^{k_2}} \quad (1)$$

bu formuladagi birinchi had $-\frac{C'}{r^{k_1}}$ tortish kuchlariga tegishli had, $+\frac{C''}{r^{k_2}}$ esa itarishish kuchlariga tegishli. 4-rasmda bu hadlarning o‘zgarishi va E_r potensial energiyaning panjaradagi qo‘shni zarralar orasidagi r masofaga qarab o‘zgarishi yig‘indi chiziq orqali tasvirlangan. $k_2 > k$, bo‘lganda, r ning kamayishi bilan itarishish kuchlari tortishish kuchlariga qaraganda tezroq o‘sadi, kristallning siqilishga qarshilik ko‘rsatishiga sabab ana shudir.



4-rasm. Kristall ion panjara E_r potensial energiyasining ionlar orasidagi r masofaga bog‘liq.

Hisoblashlarning ko'rsatishiga NaCl tipidagi kristall uchun (2) formula quyidagi ifoda bilan almashitirilishi kerak:

$$E'_p = -0,2582 \frac{e^2}{r_0} \quad (2)$$

(3) formula bilan ifodalangan potensial energiya, son jihatdan, ikki qo'shni ionni panjaradan ajratib olib, ularni cheksiz uzoqlashtirish uchun bajariladigan ishga teng, boshqacha aytganda, u potensial energiya panjaradagi ikki qo'shni ionlar orasidagi bog'lanishni uzish uchun bajariladigan ishga teng. Shu panjarani tashkil qiluvchi moddaning bir molida N juft ion bor va kubik panjaradagi har bir ion 6 ta qo'shni ionga egadir. Shunday qilib, bir molni tashkil qiluvchi barcha ionlarni birbiridan cheksiz katta masofaga uzoqlashtirish uchun 6N bog'lanishini uzish kerak. Bundan panjaraning bir molga mos keluvchi to'la potensial energiyasi

$$E_p = -0,2582 \frac{e^2}{r_0} \cdot 6N \quad (3)$$

Kubik panjaradagi qo'shni ionlar orasidagi r_0 masofani quyidagicha aniqlaymiz; agar tekshirilayotgan kristallning zichligi ρ , molekular og'irligi μ va bir molining hajmi V_0 bo'lsa, u holda: $V_0 = \frac{\mu}{\rho}$. Har bir elementar kubik yacheykaga to'g'ri

keladigan $V = r_0^3$ hajmini esa V_0 bir moldagi yacheykalar soniga bo'lib topamiz; yacheykalarining soni bir moldagi ionlar soniga, ya'ni 2N ga teng bo'ladi. Shuning uchun $r_0^3 = \frac{V_0}{2N} = \frac{\mu}{2\rho N}$ bundan $r_0 = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2\rho N}}$. Bu qiymatni potensial energiyaning (4) ifodasiga qo'yamiz:

$$E_p = -0,2582 \cdot G \cdot e^2 \sqrt[3]{\frac{2\rho N^4}{\mu}} \quad (4)$$

e va N konstantalar bo'lgani uchun, oxirgi ifoda

$$E_p = -K \sqrt[3]{\frac{\rho}{\mu}} \quad (5)$$

ko'rinishida yozilishi mumkin. Agar ρ ni g/sm^3 larda, μ ni g/mol larda va E_r ni kal/mol larda ifodalasak, K ning son qiymati 545 ga teng bo'ladi. CsCl yoki CaF_2 tipidagi kristall panajaralari uchun ham (5) ga o'xshash formula kelib chiqadi, faqat K konstantaning son qiymati boshqacha bo'ladi.

Kristallarni turlarga ajratishning ikki xil usuli mavjud: Kristallografik - bu usulda zarralar joylashuvining fazoviy davriyligiga ahamiyat beriladi va shuning uchun ham zarralar geometrik nuqtalar sifatida qaralib, kristallning ichki tuzilishiga e'tibor berilmaydi.

Nazorat savollari

1. Kristall panjara deb nimaga aytiladi? Elementar yacheyka nima?
2. Monokristallar qanday tuzigan?
3. Simmetriya sinfi deb nimaga aytiladi?
4. Anizotropiya deb nimaga aytiladi?
5. Ionli va metall kristallar qanday tuzilgan?

5.4. Mavzu: Qattiq jismlarning issiqlik xossalari. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi. Suvning issiqlikdan kenayishining xususiyatlari. Qattiq holatga o'tish. Uchlanma nuqta. Birinchi tartibli fazoviy o'tishlar.

Qattiq jismning fazoviy panjarasini tashkil qiluvchi har bir zarra (atom yoki ion) muvozanat vaziyat atrofida tebranib turadi. Qattiq jismning ichki energiyasi mana shu tebranishlarning energiyasidan iboratdir. Qattiq jismlardagi zarralarning issiqlik harakati, gaz va suyuqliklardagi zarralarning issiqlik harakatidan o'zlarining xarakteri bilan farqlanadi. Gazlarda alohida molekulalar erkin uchib yuradi va bir-biri bilan faqat elastik to'qnashishlarga uchraydi; gazlarda diffuziya jarayoni tezlik bilan o'tishiga olib keladi.

Suyuqliklarda esa molekulalar o'zining tartibsiz harakati tufayli qo'shni molekulalar bilan uzluksiz tebranib turadi. Suyuqliklarda ham, gazlardagiga nisbatan sekinroq bo'lsada diffuziya mavjuddir. Ammo qattiq jismlarda zarralar (atom va ion) ma'lum muvozanat atrofida tebranib tursada, bir joydan ikkinchi kamdan kam holda joyga o'tishi mumkin, shu sababli diffuziya juda sekin bo'ladi. Qattiq jismning temperaturasi ko'tarilsa, zarralarning muvozanat vaziyatlardan chetlanishlari ko'payadi. Bu qattiq jismni issiqlikdan kengayishiga olib keladi.

Ma'lumki, qattiq jismning 0°C (273 K) temperaturadagi uzunligini L_0 ga teng deb olib, uning ΔT temperaturagacha ($\Delta t = t - t_0$) qizdirgandagi ΔL uzayishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t \quad (1)$$

bunda α – qattiq jismning issiqlikdan chiziqli kengayishi koeffisienti. Bundan jismning T temperaturadagi L_T uzunligi;

$$L_T = L_0 + \Delta L = L_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (2)$$

Ya'ni qattiq jismning uzunligi temperatura bilan chiziqli bog'lanishda o'sadi. Qattiq jismlar uchun chiziqli kengayish koeffisienti kichik bo'lib, ular 10^{-5} va 10^{-6} K^{-1} ga yaqin kattalik atrofida bo'ladi. Agar (14.2)dan α ni aniqlasak

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3)$$

ni topamiz. Demak, α jismning nisbiy chiziqli kengayishi $\frac{\Delta L}{L}$ ning temperatura o'zgarishi ΔT ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta L}{L} = \frac{1_M}{K \cdot M} = 1\text{K}^{-1}.$$

Chiziqli kengayish natijasida jismning hajmi ham kattalashadi. Qirralarining uzunligi L_0 bo'lgan kub shaklidagi jismning ko'z oldimizga keltiraylik; uning L_0^3 ga teng bo'lgan dastlabki hajmini V_0 orqali belgilaymiz. U holda T temperaturadagi hajm $V = L_0^3(1 + \alpha \Delta t)^3 = V_0(1 + \alpha \Delta t)^3$. Bu ifodadagi $(1 + \alpha \Delta T)$ binomni kubga oshirib, α^2 hamda α^3 qatnashgan hadlarni etiborga olmasak, jism hajminitemperaturaga bog'liqlik ifodasi $V = V_0(1 + 3\alpha \Delta t)$ ga teng bo'ladi. 3α ni β orqali belgilasak,

$$V = V_0(1 + \beta \Delta t) \quad (4)$$

Bu erdagi kattalik β qattiq jismning issiqlikdan haymiy kengayish koefitsienti deyiladi. Anizotron kristallarda chiziqli kengayish koefitsienti α turli yo'nalishlar uchun turlicha bo'ladi. Natijada kristall kengaygandan so'ng, o'ziga o'xshash bo'lmay qoladi: kristall o'z shaklini o'zgartiradi. Ammo kristallning to'g'ri chiziqli issiqlikdan kengayishi, to'g'ri chiziqligicha qolaveradi. Bu yo'nalishlar kristallografik o'qlar deyiladi. Issiqlikdan kengayish koefitsienti α ning mana shu yo'nalishlar bo'yicha olingan qiymatlari bosh qiymatlar deyiladi. Umumiy holda kristallar uchta shunday o'qqa va issiqlikdan chiziqli kengayishning uchta bosh koefitsienti α_1 , α_2 va α_3 ga egadir. Kristallning hajmiy kengayish koefitsienti taqriban chiziqli kengayishning bosh koefitsientlari yig'indisiga teng. Izotrop jism uchun $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ va bu holda $\beta = 3\alpha$ ga teng bo'ladi.

Qattiq jismning ichki energiyasi jismni tashkil qiluvchi zarralarning tebranish energiyasidan va shuningdek, ularning o'zaro potensial energiyasidan iboratdir, ya'ni $W = W_k + W_p$ ga teng bo'ladi. Kristall panjarani tashkil qiluvchi zarralar (atomlar va ionlar) umuman olganda, erkin bo'lmaydi, chunki ular orasida o'zaro ta'sir kuchlari bo'ladi. Shuning uchun zarralarning tebranishlarini bog'langan tebranishlar deb qarash kerak; butun panjarada turli chastotali tebranishlar vujudga keladi. Shu tebranishlarning energiyasi nazarga olinishi kerak. Har bir zarra muvozanat holati atrofida tebranma harakat qiladi. Zarra tebranishining o'rtacha energiyasini aniqlash uchun, zarra ham kinetik, ham potensial energiya zapasiga ega bo'lishini e'tiborga olish kerak. Har bir zarra muvozanat vaziyati atrofida uch yo'nalishda tebranishini e'tiborga olinsa, zarraning erkinlik darajasi $i=3$ ga teng bo'ladi. Shuning uchun o'rtacha kinetik energiya quyidagiga

$$\bar{W}_k = \frac{i}{2} kT = \frac{3}{2} kT \quad (5)$$

teng bo'ladi. Bitta zarrani o'rtacha to'la energiyasining qiymati $\bar{W} = 2\bar{W}_k = 3kT$ ga teng. Bir mol qattiq jismning to'la ichki energiyasi U ni topish uchun, bir zarraning o'rtacha energiyasini bir molda bo'lgan erkin tebranuvchi zarralar soniga ko'paytirish kerak

$$U = \bar{W} \cdot N = 3NkT = 3N \frac{R}{N} \cdot T = 3RT \quad (6)$$

bu erda $R = 8,31 \cdot \text{Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$ – gaz doimiysi.

Issiqlikdan kengayish koefitsienti kichik bo'lgan qattiq va o'zgarmas hajmdagi va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'implari amalda bir-biridan farq qilmaydi. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik berilsa, bu issiqlikning hammasi ichki energiyani ortishiga sarf bo'ladi. Shuning uchun o'zgarmas hajmdagi qattiq jismning issiqlik sig'imi quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$C_v = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v = 3R \approx 6 \text{kal} / \text{K} \cdot \text{mol} = 25,12 \text{ j} / \text{K} \cdot \text{mol} \quad (7)$$

Ya'ni barcha kimyoviy sodda kristall qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi etarli darajada yuqori temperaturada 6 kal/kmol ga tengdir. Bu xulosa Dyulong va Pti qonuni deb yuritiladi.

1819 yilda fransuz fiziklari Dyulong va Ptilar tajribalar asosida quyidagi qonunni yaratdilar: Barcha kristallik qattiq jismlarning solishtirma issiqlik sig'imini

uchun bir xil bo'lgan miqdor ya'ni 6 kal/mol.K yoki $25,1 \text{ j/mol.K}$ kelib chiqadi. Bu qonun ba'zi qattiq jismlar uchun to'g'ri keladi. Masalan, Alyumin(Al) uchun $25,67 \text{ j/mol.K} \approx 3,1 R$, temir (Fe) uchun $26,58 \text{ j/mol.K} \approx 3,22 R$, mis (Cu) uchun $24,74 \text{ j/mol.K} \approx 2,99 R$

Kristalik panjara tugunlarida joylashgan zarrachalarning uchta erkinlik darajasi bor ya'ni ular uch yo'nalish bo'ylab tebranma harakat qilishlari mumkin. Har bir erkinlik darajasiga to'g'ri keluvchi energiya $\frac{1}{2}KT$ ga teng. Demak, uchta erkinlik darajasiga $\frac{3}{2}KT$ energiya miqdori to'g'ri keladi. Bu uning harakati vaqtidagi kinetik energiyasi. Har bir molekula potensial energiyaga ham ega. Demak, har bir molekulani to'liq energiyasi $\frac{3}{2}KT \cdot 2 = 3KT$ ga teng bo'lar ekan. 1k atomda Avagadro soniga teng atom bor. Demak, 1 moldagi barcha molekulalarning energiyasi $3R$ ga teng.

Dyulop va Pti tomonlaridan o'tkazilgan tajribalar va yuqoridagi xulosalar faqat uy temperaturasi sharoitida to'g'ri keladi. Past temperaturalar sharoitida uni qo'llash mumkin emas. Tajribalar ko'rsatadiki, temperatura absolyut nolga yaqinlashib borsa, qattiq jismlarning issiqlik sig'imi nolga yaqinlashadi. Bu hodisani va shuningdek past haroratlarda qattiq jismlarning issiqlik sig'mi tabiatini nazariy jihatdan birinchi bo'lib A. Enshteyn keyinroq esa Debay tushuntirib berdilar.

Debay shu narsani aniqladiki, ancha past temperaturalarda kristalik jism bir molining ichki energiyasi absolyut temperaturaning to'rtinchi darajasiga proporsional bo'ladi. Ya'ni

$$U = \lambda T^4 \quad (8)$$

bu erda λ -doimiy koeffffisient.

Qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi, ichki energiya ortirmasini bir mol kristall temperaturasi ortirmasiga nisbati bilan quyidagicha aniqlash mumkin.

$$C_v = \frac{du}{dT} = 4\lambda T^3 \quad (9)$$

bu formula Debay qonuni formulasidir. Agar temperatura absolyut nolga intilsa, C_v juda kichik bo'lib, nolga yaqin bolib qoladi.

Qattiq jismning zarralarini (atomlarini) kristall panjara tugunlarida joylashgan moddiy nuqtalar to'plami deb qarash mumkin. Atomlar panjara tugunlaridagi muvozanat vaziyatlari atrofida issiqlik tebranishlari bajaradi. Har bir atomning energiyasi uning kinetik va potensial energiyalari yig'indisidan iborat bo'ladi. Kristall panjaraning tugunida turgan har bir zarra tebranishini koordinata o'qlari bo'ylab uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin. Har bir tashkil etuvchining energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Har bir tebranishga ikkita erkinlik darajasi to'g'ri kelishini e'tiborga olsak, qattiq jismning har bir zarrasi oltita erkinlik darajasiga ega ekanligi ma'lum bo'ladi. Har bir erkinlik darajasiga o'rtacha kT energiya to'g'ri keladi. Shu sababli bitta atomga to'g'ri keluvchi o'rtacha energiya $3kT$ teng bo'ladi. Bu kattalikni Avogadro soniga ko'paytirib, qattiq jism bir molining ichki energiyasi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$U = 3RT \quad (10)$$

Bundan qattiq jismning o'zgarmas hajmidagi molyar issiqlik sig'imi uchun

$$C_v = \frac{dU}{dT} \quad (11)$$

ifodani hosil qilamiz.

Ko'p sonli tajribalar shuni ko'rsatadiki, temperatura pasayishi bilan kristallarning issiqlik sig'imi kamaya beradi va absolyut nolga yaqinlashganda nolga intiladi. Klassik nazariya bo'yicha issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liq bo'lmasligi energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanishi va erkinlik darajalari sonining o'zgarmas deb hisoblanishi natijasidir.

Issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligini nemis olimi Plank tomonidan rivojlantirilgan kvantlar nazariyasiga tayanib Eynshteyn (1907 yilda), keyinroq esa Debay va boshqalar nazariy jihatdan ko'rsatib berdilar. Kvant nazariyasiga muvofiq molekullarning energiyasi diskret va ularning energiyasi $h\nu$ kattalikka butun karralidir:

$$E = nh\nu \quad (12)$$

bu erda n - ixtiyoriy butun son, ν - molekulaning tebranishlar chastotasi, h - Plank doimiysi. Eynshteyn barcha zarrachalar birday chastotada tebranadi deb faraz qilib, bir mol kristall ichki energiyasi uchun quyidagi ifodani oldi:

$$U = 3N_a \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (12)$$

Katta T larda (12.4) ifoda $3RT$ ga teng qiymatni olib, klassik nazariya bilan mos tushadi. Debay o'z nazariyasida tebranish chastotalarining butun bir to'plami mavjud deb faraz qildi. U juda past temperaturalarda qattiq jismning ichki energiyasi absolyut temperaturaning to'rtinchi darajasiga proporsional ekanligini aniqladi:

$$U = aT^4 \quad (13)$$

bu erda a - o'zgarmas ko'paytuvchi. Bu ifodadan issiqlik sig'imi uchun quyidagi kelib chiqadi:

$$C_v = 4aT^3 \quad (14)$$

Nazorat savollari

1. Chiziqli kengayish termik koeffitsenti deb nimaga aytiladi?
2. Molyar issiqlik sig'imi nima?
3. Jismlarning issiqlikdan hajm kengayishi deb nimaga aytiladi?
4. Dyulong-Pti qonunini ta'riflang
5. Suv issiqlikdan qanday kengayadi?

VI BOB. VAKUUM FIZIKASI VA PAST BOSIMDAGI HODISALAR

6.1. Mavzu: Kuchli siyraklashgan gazlar. Vakuumni hosil qilish va uni o‘lchash. Past bosimda gazlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi. Vakuumni fan va texnikada ahamiyati

Vakuum – havosiz bo‘shliq degan ma’noni anglatadi. Past bosimni, «vakuumni» hosil qilish texnikada, ilmiy tadqiqot ishlarida va turmushda muhim rol o‘ynaydi. Vakuumdan turli elektrik va radiotexnik maqsadlarda (elektron lampalar, elektron nurlu trubkalar va h.k.) foydalanish vakuum texnikasining rivojlanishi uchun katta turtki bo‘ldi.

Vakuum fan-texnika tarraqqiyotida va turmushda muhim ahamiyatga ega. Vakuum qanday hosil qilinadi? Idishdan havoni so‘rib chiqarish qanday amalga oshiriladi? Havo yoki gazni idishdan so‘rib chiqarish maxsus konstruksiyali vakuum nasoslari yordamida amalga oshiriladi.

Gaz molekulasining o‘rtacha erkin yugurish yo‘l uzunligi u joylashgan idishning o‘lchamlariga yaqin bo‘lsa, bunday siyraklashgan gaz *vakuum* deyiladi. Agar gaz molekulasining erkin yugurish yo‘l uzunligi idish o‘lchamlaridan kichik bo‘lsa, u holda bunday vakuum *past vakuum* deyiladi. Yuqorida ta’kidlanidek, past vakuumlarni hosil qilish uchun *forvakuum nasoslari* qo‘llanilsa yukori vakuumni diffuznom nasoslar yordamida hosil qilinadi.

Past vakuumlarni hosil qilish

Vakuum texnikasining dastlabki yillarida vakuum porshenli nasoslar bilan hosil qilingan. Shunday nasoslardan biri Gerikning havo nasosi edi. Ammo porshenli mexanik nasoslar yuqori vakuumlarni hosil qila olmaydi. Buning sababi siyraklashtirish ma’lum kattalikka etganda bosim farqi ta’sirida silindr va porshen orasidan idishga havo sizib kirib boshlaydi. Keyin nasos boshqa siyraklantira olmaydi.

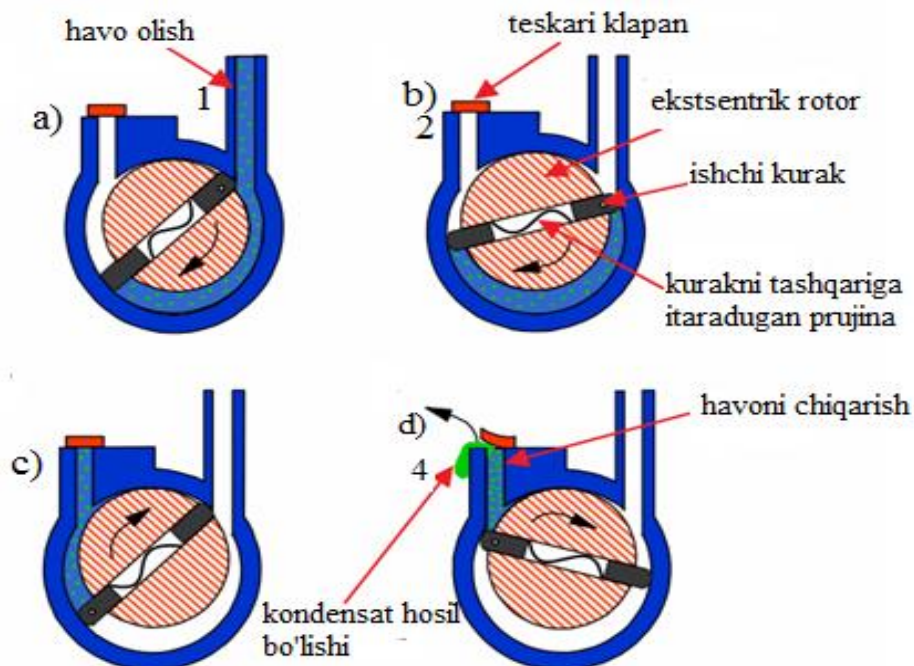
Porshenli eng sodda havo nasosi o‘zining tuzilishi jihatidan porshenli suv nasosi bilan o‘xshash bo‘lib, undan faqat qismlarining aniqroq ishlanganligi va zichroq o‘rnatilganligi bilan farq qiladi. Ammo porshenli nasos mexanik nuqtai nazardan noqulay harakatlanuvchi, ya’ni orqaga va oldinga harakatlanuvchi nasoslarning o‘rnini hozirgi vaqtda kuraklari aylanma harakat qiluvchi nasoslar tamomila egallagan. Shu xildagi vakuum nasosining kesimi va ishlash prinsipi 1-rasmda ko‘rsatilgan.

XX-asrning boshlarida vakuum hosil qilish uchun ishonchli ishlaydigan rotatsion forvakuum nasoslari paydo bo‘ldi. Keyinchalik fan va texnikaning turli sohalarida ancha mukammal konstruksiyali maxsus forvakuum nasoslari qo‘llanila boshladi.

Nasosning massiv metall korpusi ichidagi silindrik bo‘shliqqa metall silindr eksentrik o‘rnatilgan. silindrdagi kesikka o‘rnatilgan kurak o‘zlari orasida qo‘yilgan prujina yordamida bir-birlaridan itarilib, silindr bilan bo‘shliqning devorlari orasidagi sohani ikki hismga ajratadi.

1-rasmda rotatsion nasosning tuzilishi va ishlash jarayoni ko‘rsatilgan. Tez aylanadigan ekstsentrik rotor qo‘zg‘aluvchan ishchi kuraklarga ega bo‘lib, vakuum hosil qilinadigan idishdan chiqariladigan havo 1-trubkadan kuraklar orqali 2-chiqarish trubkasiga uzatiladi. Odatda nasosning germetikligini (yaxshilash)

ta'minlash uchun nasos moy ichiga solib qo'yiladi. Rotorning har bir aylanishida havosi so'riladigan idishdan ma'lum miqdor havoni olib uni atmosferaga chiqarib tashlaydi.



1-rasm.

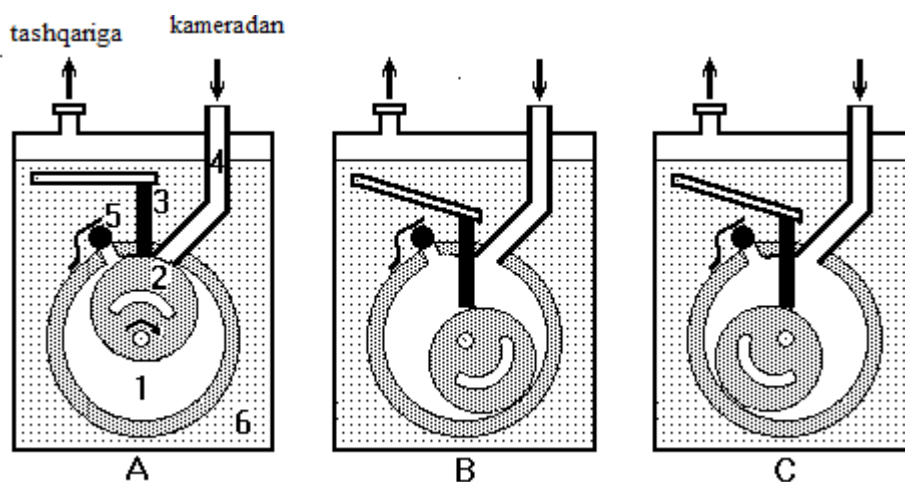
Bu sxemalar strelka bilan ko'rsatilgan yo'nalishda aylanganda kuraklar qanday ketma-ket holatlarda bo'lishini tasvirlaydi (1-rasm). Forvakuumli rotatsion nasosning yana bir konstruksiyasining tuzilishi va ishlash prinsipi 2-rasmda aks ettirilgan. Rotatsion forvakuum nasosning tashqi ko'rinishi esa 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm

Ishchi kamerada vacuum hosil qilish jarayoni quyidagicha amalga oshadi. A holat rotorning dastlabki holati hisoblanadi. B holatda rotor pastga harakatlana boshlaydi. Bunda kamerada ya'ni habo kirish 4 trubkasi tomonida havo siyraklanadi. Shu vaqtning o'zida 5 klapan tomonida havo siqiladi.

Rotorning S holatida esa siqilgan havo 5 klapan orqali tashqariga chiqarilib yuboriladi va kameradan yana havo so'rib olish jarayoni siklik davom etadi.



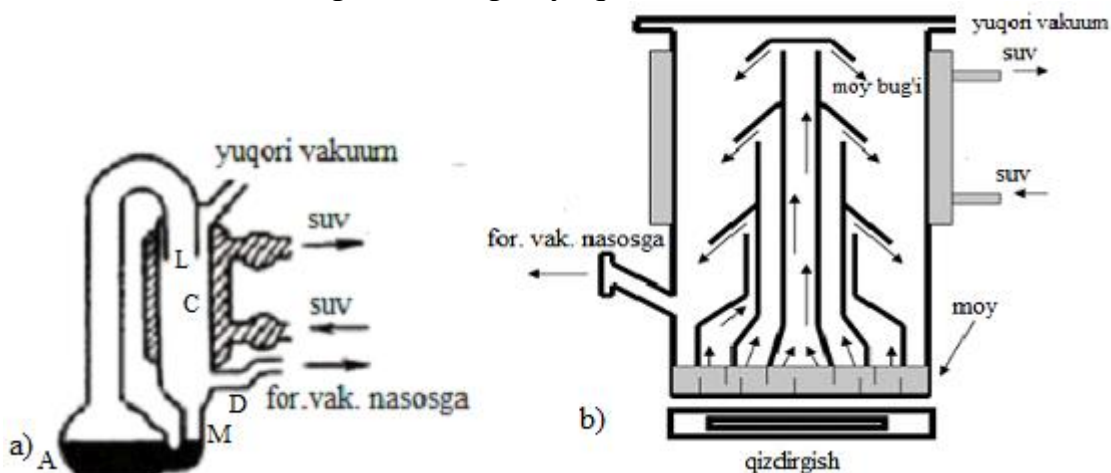
3-rasm. Forvakuumli rotatsion nasosning tuzilishi

Kuraklar tagidan va motordan gaz o‘tib ketmasligi uchun nasosning barcha qismlari avtomatik ravishda uzluksiz moylab turiladi. Shuning uchun bunday nasos moyli nasos deb aytiladi. Bu prinsip asosida ishlaydigan mexanik nasoslar $10^{-3} - 10^{-4}$ mm.Hg ycm. gacha bosimlar hosil qilishi mumkin.

Yuqori vakuumlarni hosil qilish

Forvakuum nasosi yordamida atmosfera bosimidan boshlab $1 \cdot 10^{-3}$ mm.sim.ust gacha bo‘lgan past vakuumni hosil qilish mumkin. Yuqori vakuumlar ($1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-8}$)ni hosil qilish uchun hozirgi vaqtda ko‘pincha diffuzion yoki sorbsion nasoslar ishlatiladi.

Diffuzion nasosi ishlashi uchun forvakuum nasosi yordamida gazning dastlabki siyraklashtirilishi ($10^{-3} - 10^{-4}$ mm sim. ust.) amalga oshiriladi. Shuing uchun forvakuum va diffuzion nasoslari ketma-ket ulanadi. Bu nasoslar yordamida bosimi 10^{-7} mm sim. ust. gacha bo‘lgan yuqori vakuum olish mumkin.



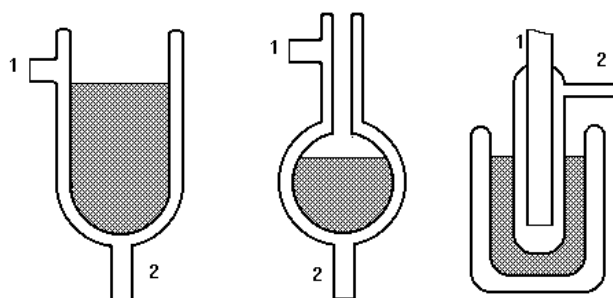
4-rasm.

Bu nasoslar gazni atmosfera bosimidan boshlab so‘rib ololmaydi, lekin ular qo‘shimcha ravishda bosim farqini vujudga keltira oladi. Shuning uchun diffuzion nasos, yuqorida bayon qilingan forvakuum nasosi bilan birgalikda qo‘shib ishlatiladi. Moyli forvakuum nasosi dastlabki siyraklanishni (forvakuumni) hosil qiladi, bu siyraklanish esa diffuzion nasos yordamida yuqori vakuumni olishga imkon beradi.

Simobli diffuzion nasosning eng sodda turi 4a-rasmda tasvirlangan. *A* idishga quyib qo'yilgan simob elektr pechi yordamida qizdiriladi. Natijada simob bug'lanadi va truba orqali *L* soplodan o'tilib chiqadi. So'ngra u suv bilan sovitiladigan *C* devorda kondensatsiyalanadi va *M* nay bo'yicha yana idishga oqib tushadi. *L* soplodan o'tilib chiqayotgan simob bug'i oqimi bo'shatiladigan idishdan *D* nay orqali keluvchi gaz molekularini o'zi bilan olib ketadi. So'ng ular forvakuum nasosi bilan *N* nay orqali so'rib olinadi. Bu ko'rsatilgan prinsip, ya'ni kondensatsiyalanadigan simob bug'ining va molekularni o'zi bilan olib ketishi hozirg vaqtda turli variantlarda qo'llaniladi. Dastlab diffuzion nasoslar shishadan yasalgan. Metalldan yasalgan diffuzion nasoslarning juda ko'p xil konstruksiyalari bor. Ko'pincha ketma-ket bir nechta soplo o'rnatilgan ko'p pog'onali diffuzion nasoslar juda yaxshi vakuum hosil qiladi va forvakuum nasosi bilan birgalikda ishlatiladi(4b-rasm).

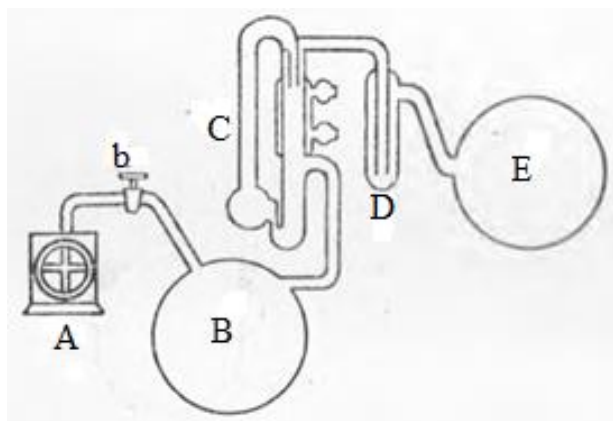
Hozirgi vaqtda simobli diffuzion nasoslar qiyin uchuvchan organik suyuqliklar bilan almashtirgan. Bunday nasoslar moy-bug'li nasoslar deyiladi. Simobli diffuzion nasoslarning kamchiligi shundaki, ularda bo'shatiladigan idishga simob bug'i kirib qoladi. Simobli diffuzion nasoslar $P = 10^{-5}$ *mm.Hg ycm.* dan past bosimlarni hosil qila olmaydi. Bu kamchilikdan qutulish maqsadida simobli diffuzion nasos bilan bo'shatiladigan idish orasida egilgan maxsus naycha «simob tutgich» o'rnatiladi. U suyuq havo bilan sovitiladi. Bunda vakuum darajasi ancha oshib ketadi. Suyuq havoning qaynash temperaturasi $-184^{\circ}C$. Bunda simob qattiq holatda bo'lib, to'yingan simob bug'ining bosimi yo'q darajada kichik bo'ladi. Diffuzion nasoslarda qo'llaniladigan simob tutqichning turli konstruksiyalari 5-rasmda keltirilgan.

Moy bug'li nasoslar suyuq havo bilan sovitiladigan simob tutqichsiz va hatto suv bilan sovitilmaganda ham ishlatiladi. Chunki ularda ishlatiladigan suyuqliklar to'yingan bug'larning uy temperaturasidagi bosimidan juda kichik bo'ladi.



5-rasm Turli konstruksiyali simob tutqichlarning tuzilishi

Butun agregat 6-rasmda tasvirlangan: *A* - elektromotor yordamida harakatlanuvchi moyli forvakuum nasos, *C* - diffuzion nasos, *D* - simob tutgich, *E* - bo'shatilayotgan idish, *B* - forvakuum balloni dsb ataladigan idish bo'lib, u *A* moyli nasosni uzluksiz ishlatmaslik uchun kerak bo'ladi. Moyli *A* nasos forvakuum balloni *B* da kerakli forvakuum hosil qilgandan so'ng, b jo'mrakni berkitish va *A* nasosni to'xtatib quyish mumkin: u holda diffuzion nasos gazni *E* idishdan forvakuum balloni *B* ga haydaydi.



6-rasm. Forvakuum nasosi bilan diffuzion nasosning birlashtirilgan sxemasi.

Moy-bug‘li nasoslar suyuq havo bilan sovutiladigan simob tutkichsiz va, hatto, suv bilan sovutilmagan holda ham ishlan oladi, chunki ularda ishlatiladigan suyuqliklar to‘yingan bug‘larinng uy temperaturasidagi bosim simob bug‘larinng xuddi uy temperaturadagi bosnmidan juda ham kichik bo‘ladi.

Yuqori va o‘ta yuqori vakuumlarni hosil qilishda turli tipdagi nasoslar qo‘llaniladi.

Vakuum nasoslarining asosiy parametrlari

Vakuum nasoslarining asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

1. **Chegaraviy vakuum** - bu nasos yordamida olish mumkin bo‘lgan maksimal (vakuum) siyraklantirish hisoblanadi va bosim birliklarida o‘lchanadi. Bunda vakuum hosil qilinadigan idish va uning qismlaridan chiqadigan gaz miqdori bilan so‘rib tashlanadigan havo orasida muvozonat qaror topadi.

2. **Nasosning so‘rish tezligi** – bu nasosning kirish trubkasi orqali birlik vaqtda ma’lum bosimda so‘rib chiqariladigan havo(gaz) hajmi bilan aniqlanadi.

$$S = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

Bu erda Q- idishdan birlik vaqtda so‘rib chiqariladigan havo miqdori, Nasosning

so‘rish tezligi $\frac{\mu\text{mmp}}{c}$ larda o‘lchanadi.

Mexanik forvakuum nasoslarning siyraklantiriladigan idishdan P_1 bosimdan P_2 bosimgacha gazni so‘rib olish uchun sarflanadigan vaqt quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$t = 2,3 \frac{V}{S} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2)$$

bu erda V- idish hajmi. S- effektiv so‘rish tezligi.

Yuqori va o‘ta yuqori vakuumlarni hosil qilishda diffuzion nasoslar bilan birgalikda sorbsion, magnitli gazorazryadli va ionli sorbsion nasoslar ham qo‘llaniladi. Yuqori vakuumlarda gaz molekullari erkin yo‘lining uzunligi bir necha o‘n metrga etadi.

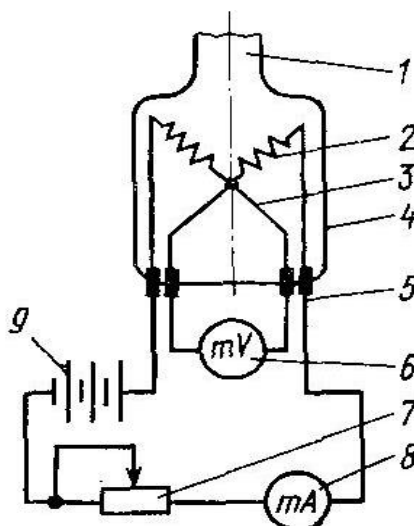
Vakuumlarni o‘lchash

Vakuum texnikasi bilan bog‘liq bo‘lgan ikkinchi masala - past bosnmlarni o‘lchash masalasidir. Odatda simobli U-simoi manometr millnmetrnng bir necha

bo‘laklariga teng simob ustunining bosnidan past bo‘lmagan bosnmlarni o‘lchay oladi.

Past va yuqori vakuumlarni o‘lchash uchun oddiy U simon manometrlardan tortib termoparali, magnitli-elektrozaryadli va ionizatsion manometrlar kabi vakuum o‘lchaydigan juda ko‘p turdagi asboblar(vakuummترلar) mavjud. Ko‘pincha yuqori vakuumlarni o‘lchaydigan asboblar vakuummترلar deyiladi.

Past vakuumlarni o‘lchashga mo‘ljallangan mexanik manometrlarning ishlash prinsipi bosim farqi natijasida egiluvchan elementlarning deformatsiyasiga asoslangan.



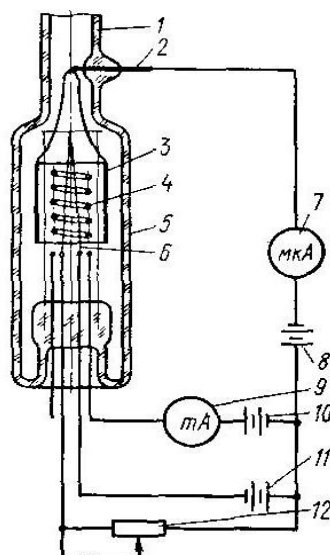
7-rasm. Termojuftli vakuummטר: 1-trubka, 2-qizdirgich, 3-termojuft, 4-shisha ballon, 5- tok beriladigan oyoqcha, 6-millivoltmetr, 7- potensiometr, 8- milliampermetr, 9- tok manbai.

Termojuftli manometrlarning ishlash prinsipi esa siyraklantirilgan gazning issiqlik o‘tkazuvchanligining uning bosimiga bog‘lanishiga asoslangan. Termoelektrik manometrlarga termojuftli va qarshilikli manometrlar kiradi. LT-2 tipidagi termojuftli manometrning tuzilishi 7–rasmda keltirilgan. Termojuftli manometrlar asosan past vakuumlarni (10^{-2} - 10^{-3} mm sim ust.) o‘lchash uchun qo‘llaniladi.

Juda past bosimlarni o‘lchash uchun boshqa xil manometrlar ishlatiladi. Masalan, issiqlik manometri. Bu manometr past bosim sharoitida gazlar issiqlik o‘tkazuvchanligining bosimga bog‘liq bo‘lishiga, shu bilan birga amalda chiziqli bog‘liq bo‘lishiga asoslangandir.

U shisha ballondan iborat bo‘lib, uning ichiga elektr toki bilan qizdiriladigan tola o‘rnatilgan. Tok kuchi ma’lum qiymatga borganda tolaning qizish temperaturasi uning issiqlik berishiga bog‘liq bo‘ladi. Bu esa o‘z navbatida atrofdagi gazning bosimini o‘lchash uchun xizmat qiladi. Tola temperaturasi uning qarshiligi bilan hisoblanadi.

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



8-rasm. Ionizatsion manometr:

1-trubka, 2-kollektorning chiqishi, 3-ionlar kollektori, 4 – to‘r, 5- shisha ballon, 6 – katod, 7,9 – mikro va milliampermetrlar, 8,10,11- tok manbai, 12- potentsiometr.

Juda ham past bosimlarni o‘lchash uchun ionizatsiyali manometrlar qo‘llaniladi. Ionizatsiyali manometrlarning ishlash prinsipi qoldiq gaz molekularini lampa katodidan chiqadigan elektronlar oqimi bilan ionlashtirishga asoslangan (8-rasm).

Vakuummerning sezgir elementi sifatida 3 elektrodli electron manometrik lampa ishlatiladi. Lampa balloni 5 vakuum kattaligi o‘lchanayotgan kamera (muhit)si bilan ulanadi. Ballonda volfram tola, katod 6, to‘r 4 va anod (kollektor)3, joylashgan.

Katoddan chiqqan elektronlar musbat zaryadlangan kollektorga tortilib gaz molekulari bilan to‘qnashadi. Gaz bosimiga (vakuumda) elektronlar o‘z yo‘lida ma’lum miqdordagi qoldiq gaz molekularini ionlashtiradi. Ionlar kollektorda yig‘ilib anod(kollektor) tokini hosil qiladi. Bu tokning kattaligi gaz bosimiga proporsional bo‘ladi. Ya’ni kollektor toki quyidagiga teng teng bo‘ladi.

$$I_a = kP$$

Bu erda I_a - anod toki, P - gaz bosimi, k -proporsionallik koeffitsienti. U o‘zgartirgich (manometrik lampa) o‘lchamlariga bog‘liq. Qizdirilgan katodli ionizatsion manometr orqali $P=1 \cdot 10^{-7} \dots -10^{-8} \text{ mm.Hg ycm.}$ gacha vakuum kattaligini o‘lchash mumkin. Yuqori vakuumlarni o‘lchashga mo‘ljallangan ionlashtirgichli (ionizatsion) manometrlarning tuzilishi oddiy vakuumli triodga o‘xshaydi. Uning elektr sxemaga ulanishi 8-rasmda keltirilgan.

Ionlashtirgichli manometr datchigining ishlash prinsipi triod lampasida to‘r tomon harakatlanadigan elektronlar ta’sirida ionlashgan gaz molekularining hosil qilgan tok kattaligining qoldiq gaz bosimiga bog‘liqligiga asoslangan. Quruq havo bosimiga darajalangan manometrning sezgirlik koeffitsienti turli gazlar uchun turlicha bo‘ladi.



a)



b)

9-rasm. Past va yuqori vakuumlarni o‘lchash asboblarning nashqi ko‘rinishi. a) Termojuftli va ionizatsion vakuummetr. b) ionizatsion manometrik lampa.

Past va yuqori vakuumlarni o‘lchash asboblarning tashqi ko‘rinishi 12.10-rasmda keltirilgan. Ionizatsiyali manometrlar texnik asboblarning sifatida ilmiy tekshirish laboratoriyalarida yuqori vakuumlarni o‘lchash maqsadida qo‘llaniladi. Bunday manometrlar kam inersionligi va o‘lchash diapazonini o‘zgartirish mumkinligi bilan ajralib turadi.

Nazorat savollari

1. Vakuum deb nimaga aytiladi?
2. Past vakuumlar qanday hosil qilinadi?
3. Yuqori vakuumlar qanday hosil qilinadi?
4. Diffuzion vakuum nasoslari qanday tuzilgan?
5. Yuqori vakuumlar qanday o‘lchanadi?
6. Ionizatsion manometrlar qanday tuzilgan?
7. Vakuumning qo‘llanilish sohalarini ayting.

AMALIY MASHG'ULOTLAR
VII BOB. MOLEKULAR KINETIK NAZARIYANING ASOSIY QOIDALARI VA MODDA TUZILISHIGA DOIR MASALALAR YECHISH

7.1. Mavzu: Molekulyar kinetik nazariya mavzusiga doir masalalar yechish.

Molekulyar-kinetik nazariya - gaz holatidagi moddalarni ularning molekulalari vharakati nuqtai nazaridan tushuntiradigan nazariya. Ushbu nazariyada asosiy farazlar quyidagilar:

- Gaz juda ko'p sonli mayda zarrachalardan (molekulalar) iborat.
- Molekulalar doimiy va tartibsiz harakatda bo'ladi (har xil yo'nalishlarda va har xil tezlikda).
- Molekulalar o'zaro to'qnashganda elastik to'qnashuv sodir bo'ladi, ya'ni energiya saqlanadi.
- Molekulalarning o'z hajmi juda kichik bo'lib, ular orasidagi bo'shliq katta hisoblanadi.
- Molekulalararo o'zaro ta'sir faqat to'qnashuv vaqtida bo'ladi.

Mavzuga oid asosiy formulalar quyidagilar:

Ideal gazlar uchun Mendeleyev-Klapeyron holat tenglamasi quyidagi ko'rinishda:

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

P-gazning bosimi

V-uning hajmi

T-absolyut temperatura

m-gazning massasi

μ -bir kilomol gazning massasi

R-universal gaz doimiysi

Gazlar kinetik nazaryasining asosiy tenglamasi quyidagi ko'rinishda

$$p = \frac{2}{3} n E_k = \frac{2}{3} n \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{3} n m_0 v^2$$

n-hajm birligidagi molekulalar soni

E_k -bitta molekula ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi

m-molekula massasi

v-molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi

Hajm birligidagi molekulalar soni

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

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{grad}$ bolsman doimiysi

Molekulalar ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi

$$E_k = \frac{3}{2} KT$$

Molekulalar o'rtacha kvadratik tezligi

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Masalalar yechish namunalari:

1-masala. Havoni massa jihatdan bir bo‘lak kisloroddan va uch bo‘lak azotdan tashkil topgan deb hisoblab, uning molyar massasi topilsin.

Yechimi. Aralashma massasi m kilogrammlarda ifodalangan bo‘lib, son jihatidan molekulyar massaga tengdir va aralashmaning molyar massasi μ_{ap} ni ifodalaydi. Havoni ideal gaz deb qarab, ideal gaz holatining tenglamasidan foydalanamiz

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1)$$

Masalani yechish uchun V hajmda joylashgan gazni tashkil etuvchilarini alohida-alohida qarab chiqib, ular uchun holat tenglamasini yozamiz

$$P_1V = \frac{m_1}{\mu_1} RT \quad (2)$$

$$P_2V = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (3)$$

bu erda P_1 va P_2 har bir tashkil etuvchining partsial bosimidir. Aralashma uchun Dalton qonuni o‘rinlidir $P = P_1 + P_2$ (4), (2) va (3) larni hadma-had qo‘shib va (4)ni e‘tiborga olib, quyidagini hosil qilamiz

$$PV = \left(\frac{m_1 + m_2}{\mu} \right) RT \quad (5)$$

(1) va (5) larni solishtirib hamda aralashma massasi $m = m_1 + m_2$ ekanligini bilgan

holda, quyidagini hosil qilamiz $\frac{m_1 + m_2}{\mu} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}$. Bundan $\mu_{ap} = \frac{\mu_1\mu_2(m_1 + m_2)}{\mu_1m_2 + \mu_2m_1}$

Kattaliklarning son qiymatlarini SI o‘lcho‘v birliklarida qo‘yamiz

$$\mu_1 = 0.032 \text{ kg/mol}; \quad \mu_2 = 0.028 \text{ kg/mol}; \quad m_2 = 3m_1 \quad m_{ap} = \frac{4\mu\mu_2}{3\mu_1 + \mu_2} = 0.029$$

kg/mol

2-masala. Azot o‘zgarmas $P=100$ Pa bosimda qizdirilmoqda. Azotning hajmi $\Delta V = 1.5m^3$ ga o‘zgaradi. Aniqlansin:

- kengayishidagi ish;
- gazga berilgan issiqlik miqdori ;
- gaz ichki energiyasining o‘zgarishi.

Yechimi:

1 O‘zgarmas bosimda gaz kengayishidagi ish quyidagi formula bilan ifodalanadi $A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V$, $A = 10^5 1.5 \frac{M^1}{M^2} = 1.510^5 \text{ Ж}$ (1)

2 Gazga berilgan issiqlik miqdorini aniqlaymiz

$$Q = C_p m \Delta T = \frac{C_{p\mu}}{\mu} m \Delta T \quad (2)$$

bu erda C_p - o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi,

$C_{p\mu}$ - o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi, m - gaz massasi, μ - molyar massa. Gazning ikki holati uchun Klapeyron – Mendeleyev tenglamalari

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \quad (3)$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \quad (4)$$

(4) va (3)ni ayiramiz. $\frac{P\Delta V}{R} = \frac{m}{\mu} \Delta T$ yoki $\frac{m}{\mu} \Delta T = \frac{A}{R}$ chunki $P\Delta V = A$ ga

teng $R = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{mol.k}}$ – universal gaz doimiysi u holda $Q = C_{p\mu} \frac{A}{R}$ ga $Q = 29,1 \frac{\text{Ж}}{\text{mol.k}}$

$$\frac{1,5 * 10^{\text{Ж}}}{8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{mol.k}}} = 5,25 * 10^5 \text{ Ж}$$

3-masala. Silindrda porshen ostida $T=300$ K haroratda massasi $m=0,02$ kg bo'lgan vodorod bor. Vodorod avval adiabatik ravishda kengayib o'z hajmini $n_1 = 5$ marta orttirdi, so'ngra esa, izometrik ravishda siqildi, bunda uning hajmi $n_2 = 5$ marta kamaydi. Adiabatik kengayishi oxirida haroratni va gazning bu jarayonlarda bajaragan ishini toping.

Yechimi. Adiabatik jarayonda ish bajarayotgan gazning haroratlari va hajmlari quyidagicha bog'langan $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$ yoki $\frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n^{\gamma-1}}$

bu erda γ -gazning o'zgarmas bosimdagi va o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imlarining nisbati (vodorod ikki atomli gaz bo'lgani uchun $\gamma=1,4$)

$$n = \frac{V_2}{V_1} = 5$$

Bundan oxirgi T harorat uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz: $T_2 = \frac{T_1}{n^{\gamma-1}}$

Berilgan kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, T ni topamiz $T_2 = \frac{300}{5^{1,4-1}} K = \frac{300}{5^{0,4}} K$, $5^{0,4} = 1,91$ bo'lgani sababli $T_2 = \frac{300}{1,91} = 157,0 K$

Gazning adiabatik kengayishidagi ish A_1 quyidagi formuladan topiladi

$$A_1 = \frac{m}{\mu} c_{vv} (T_1 - T_2) = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2)$$

Bu erda C_{vv} o'zgarmas bosimdagi gazning molyar issiqlik sig'imi. Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz.

4-masala. Agar $T=273$ K da kislorod uchun ichki ishqalanish koefitsienti

$\eta=18,8 * 10^{-6}$ Pa.s ga teng bo'lsa, kislorod molekulasining effektiv diametrik topilsin. **Yechimi.** Ichki ishqalanish koefitsientining molekula tezligi va erkin yugurish uzunligi orasidagi o'zaro bog'lanishidan foydalanib kislorod molekulasini diametrini topish mumkin

$$\eta = \frac{1}{3} < v > \lambda > \rho \quad (1)$$

bu erda $\langle v \rangle$ molekullarning o'rtacha arifmetik tezligi, $\langle \lambda \rangle$ - o'rtacha erkin yugurish uzunligi, ρ - gazning berilgan sharoitdagi zichligi. O'rtach arifmetik tezligi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (2)$$

Bu erda R- universal gaz doimiysi, T- absolyut xarorat, μ - bir mol gaz massasi. O'rtacha erkin yugurish uzunligi quyidagi formula bilan ifodalanadi

$$\langle \lambda \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P} \quad (3)$$

bu erda k- Bolsman doimiysi, d- molekulaning effektiv diametri, p- gaz bosimi. Gaz zichligini idela gaz holat tenglamasidan aniqlash mumkin

$$\rho = \frac{\mu P}{RT} \quad (4)$$

(2),(3) va (4) ifodalarni (1) formulaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$\eta = \frac{2k}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{\mu T}{\pi R}} \quad (5)$$

$$\text{Bundan molekulaning diametri } d = \sqrt{\frac{2 * 1,38 * 10^{-23}}{3 * 3,14 * 18,8 * 10^{-6}}} \sqrt{\frac{0,032 * 273}{3,14 * 8,31}} = 3 * 10^{-10} \text{ m}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar:

- 1g azot 2 atm bosim ostida 820 sm³ hajmni egallasa, uning harorati qanday bo'ladi?
- 20°C haroratda 750 mm sim. ust. bosimda 10 g kislorod qanday hajmni egallaydi?
- Sig'imi 12 l bo'lgan ballonda 8,1·10⁶ N/m² bosim va 17°C haroratda azot to'ldirilgan. Ballonda qancha azot bor?
- Og'zi mahkam berkitilgan shishadagi havoning 7°C haroratda bosimi 1 atm. Shisha isitilganda havo bosimi 1,3 atm ga etganda tiqin otilgan. Shisha qanday haroratgacha isitilganligi topilsin.
- 6,4 kG kislorod sig'adigan ballon devori 20°C haroratda 160 kG/sm² bosimga chidasa, uning eng kichik hajmi qanday bo'ladi?
- Ballonda 10⁷N/m² bosimli 10 kg gaz bo'lgan. Ballondagi bosim 2,5·10⁶ n/m² ga teng bo'lishi uchun ballondan qancha miqdor azotni olish kerak? Azotni harorati o'zgarmas deb hisoblansin.
- 27 ° C haroratda 760 mm sim. ust. bosimli 25 l oltingugurt gazi (SO₂) ning massasi topilsin
- 1 Hajmi V=30 l bo'lgan ballonda T=300 K haroratda va P=8.2*10⁵ Pa bosimda vodorod va geliy aralashmasi joylashgan. Aralashmaning massasi m=24g. Vodorod massasi - m₁ va geliy massasi m₂ aniqlansin.
- Torrichelli tajribasi o'tkazilayotganda barometrik naychanning tubida hajmi V = 2mm³ ga teng havo pufagi hosil bo'lgan. Agar havo pufagi naycha bo'ylab ko'tarilib simob sathidan ℓ = 1 sm masofada muallaq holda turgan bo'lsa, uning hajmi qanday bo'lib qolgan?
- Ko'lining tubida uning sirtiga ko'tarilayotgan havo pufagining hajmi 3 marta ortadi. Ko'lining chuqurligi qanday?

11. $t=50^{\circ}\text{C}$ haroratda to‘yingan suv bug‘ining elastikligi $P=12.3$ KPa. Suv bugining zichligi ρ nimaga teng?

12. $t=15^{\circ}\text{C}$ haroratda va $P = 97$ KPa bosimdagi vodorod gazining zichligi ρ topilsin.

13. Biror bir gazning $t=10^{\circ}\text{C}$ haroratda va $P=0.2$ MPa bosimdagi zichligi $\rho=0.34\text{kg}/\text{m}^3$. Shu gazning molyar massasi nimaga teng?

14. Massasi 0.5 kg bo‘lgan kislorod modda miqdori V ni va molekular soni N ni aniqlang

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. $P= 0.2$ MPa bosimda $V = 320\text{sm}^3$ hajm egallab turgan 2 g azotning harorati qanchaga teng?

2. $m=10\text{g}$ kislorod $P=100$ kPa bosimda va $t=20^{\circ}\text{C}$ haroratda qanday hajm egallaydi?

3. Hajmi $V = 121$ ballon $P=8.1$ MPa bosimda va $t=17^{\circ}\text{C}$ haroratda azot bilan to‘ldirilgan. Ballonda qanday miqdorda azot joylashgan?

4. $t = 7^{\circ}\text{C}$ haroratda og‘zi mahkam berkitilgan shishadagi havoning bosimi $P = 100$ kPa. Shisha qizdirilganda, uning og‘zidagi tiqin uchib chiqdi. Agar tiqin shishadagi havoning bosimi $P=130$ kPa ga teng bo‘lganda uchib chiqqan bo‘lsa, shisha qanday haroratgacha qizdirilgan?

5. Ballonda $t_1 = 27^{\circ}\text{C}$ haroratda joylashgan $m_1 = 0.007$ kg massali noma‘lum gazning bosimi $P_1 = 50$ kPa. Shunday hajmda $m_2 = 0.004\text{kg}$ massali va $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$ haroratdagi vodorod $P_2 = 444$ kPa bosimga ega bo‘ladi. Noma‘lum gazning molyar massasi μ qanchaga teng?

7.2. Mavzu: Ideal gaz qonunlari mavzusiga doir masalalar yechish

Tabiatda gazlar ikki turga bo‘lib o‘rganiladi, ideal va real gazlar. Ideal gaz – bu fizik model bo‘lib, u gaz molekulari o‘zaro to‘qnashmaydigan, o‘lchamlari juda kichik nuqtalar deb hisoblangan va faqat elastik to‘qnashuvlarda ishtirok etadigan gazdir. Ideal gazlarning xulq-atvori oddiy matematik qonunlar bilan ifodalanadi, bu esa gazlarni o‘rganishni osonlashtiradi. Ideal gazlar Mendeleyev - Klapeyron tenglamasiga bo‘ysunadi.

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

P -gazning bosimi

V -uning hajmi

T -absolyut temperatura

m -gazning massasi

μ -bir kilomol gazning massasi

R -universal gaz doimiysi

Izojarayonlar deb gazning bosim, hajm va temperatura parametrlaridan kamida bittasi o‘zgarimasdan boradigan jarayonga aytiladi. Izojarayonlari shunga asoslanib uch guruhga bo‘lib o‘rganamiz. Izobarik, Izoxorik hamda izotermik jarayonlar. Qaralayotgan parametrlardan bosim o‘zgarimasdan, temperatura va hajm o‘zgarib boradigan jarayonga izobarik jarayon deyiladi. Shu parametrlardan hajm

o'zgarishdan bosim va temperatura o'zgaradigan jarayonga izoxorik jarayon deyiladi. Gazning temperturasi o'zgarishdan bosim va hajm parametrlari o'zgaradigan jarayonga izotermik jarayon deyiladi.

Yuqorida aytilgan Mendeleyev - Klapeyron tenglamasining izojarayonlarga tadbiqui quyidagi ko'rinishda aks etadi:

- 1) $P=\text{const}, \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
- 2) $V=\text{const}, \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
- 3) $T=\text{const}, P_1 V_1 = P_2 V_2$

Masalalar yechish namunalari

1-masala: 1 mol ideal gaz izotermik jarayonda harorati 400 K dan 300 K ga tushdi. Keyin gaz izobarik jarayonda harorati 300 K dan 500 K ga ko'tariladi. Bosim va hajmning har bir jarayondagi o'zgarishini aniqlang.

Yechish;

Berilganlar:

$$v=1\text{ mol}$$

$$T_1=400\text{ K}$$

$$T_2=300\text{ K (Izotermik jarayon oxiri, keyingi boshlangan nuqta)}$$

$$T_3=500\text{ K (Izobarik jarayon oxiri)}$$

$$P_1, V_1 - \text{boshlang'ich bosim va hajm}$$

$$P_2, V_2 - \text{Izotermik jarayon oxiri bosim va hajmi}$$

$$P_3, V_3 - \text{Izobarik jarayon oxiri bosim va hajmi}$$

1-qadam: Izotermik jarayon ($T = \text{doimiy}$ emas, lekin shartga ko'ra harorat o'zgaradi, ammo ideal gazlarda izotermik jarayon harorat o'zgarishini bildiradi, shuning uchun masalada shunday tushuncha borligi aniqlashtirilishi kerak). Izotermik jarayon deganda gaz harorati o'zgarishini tushunamiz, lekin bu masalada harorat tushayotganligi aytilgan, demak bu izotermik emas, balki izoxorik yoki boshqa jarayon bo'lishi mumkin. Masalada aytilganidek, gaz harorati 400 K dan 300 K ga tushadi va keyin 300 K dan 500 K ga ko'tariladi. Shunday qilib, birinchi jarayon izokor jarayon (bosim doimiy emas, hajm doimiy), keyin izobarik jarayon (bosim doimiy).

Izoxorik jarayon (hajm doimiy):

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \quad P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} = 0.75 P_1 \quad V_2 = V_1$$

2) Izobarik jarayon (bosim doimiy):

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}; \quad V_3 = V_2 \frac{T_3}{T_2} = V_1 \frac{500}{300} = 1.67 V_1$$

$$\text{Bosim doimiy: } P_3 = P_2 = 0.75 P_1$$

Izoxorik jarayonda bosim $0.75 P_1$ ga kamayadi, hajm o'zgarmaydi

Izobar jarayonda hajm $1.67 V_1$ ga oshadi, bosim o'zgarmaydi.

2-Masala. Gaz bosimi 3 atm, hajmi 4 l va harorati 350 K. gaz to'qnashuvisiz tezliklarning taqsimoti o'rtacha kvadratik tezligini hisoblang. Gaz massasining molyar massasini 28 g/mol.

$$\text{O'rtacha kvadratik tezlik formulasi } v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$$R=8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$T=350 \text{ K}$$

$$\mu=0.028 \text{ kg/mol}$$

$$v = \sqrt{\frac{3 \cdot 8.314 \cdot 350}{0.028}} = \sqrt{\frac{8724.9}{0.028}} = \sqrt{311603.57} \approx 558.2 \text{ m/s}$$

3- **Masala.** 1 mol ideal gaz izobar jarayonda harorati 300 K dan 600 K ga oshiriladi. Bu jarayonda gaz qancha ish bajaradi va ichki energiya qancha o'zgaradi? (Gazni ideal atomli deb hisoblang)

Gazning ishini topish uchun $A=P \cdot \Delta V$

Ichki energiyaning o'zgarishi $\Delta U = \nu \Delta T C_v$

Bosim va hajm orasidagi munosabat

Izobarik jarayonda: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = V_1 \cdot 2$

Bosim P ni topamiz: $P V_1 = \nu R T_1$ $P = \frac{\nu R T_1}{V_1}$

Ishni ifodalashda V_1 kerak emas, chunki:

$A = P(V_2 - V_1) = P V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \nu R T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \nu R (T_2 - T_1)$

Ichki energiya o'zgarishi uchun:

Atomli ideal gaz uchun: $C_v = \frac{3}{2} R$

$$\Delta U = \nu C_v \Delta T = \nu \frac{3}{2} R (T_2 - T_1)$$

$$E = 1 \cdot 8.31 \cdot (600 - 300) = 8.31 \cdot 300 = 2494 \text{ J}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8.31 \cdot 300 = 1.5 \cdot 8.31 \cdot 300 = 3741.3 \text{ J}$$

Auditoriyada yechish uchun masalalar:

1. Og'zi ochiq va hajmi $V = 0.4 \text{ dm}^3$ bo'lgan kolba ichidagi havo $t_1 = 127^\circ \text{C}$ haroratgacha qizdirilgan. Kolba harorati $t_2 = 27^\circ \text{C}$ gacha pasaytirilsa, uning ichiga qanday hajmdagi suv sig'adi?

2. Biror bir massadagi gazni o'zgarmas bosimda 1 K ga qizdirilsa, uning hajmi boshlang'ich hajmining $1/300$ qismiga ortadi. Gazning boshlang'ich harorati aniqlansin.

3. Porshenli qo'l nasosi har bir damlashda atmosferadan $V_0 = 60 \text{ sm}^3$ havoni so'radi. Hajmi $V = 2 \text{ dm}^3$ bo'lgan velosiped shinasidagi bosim $\Delta P = 0.15 \text{ MPa}$ ga ortishi uchun nasos bilan necha marta damlash zarur? Atmosferadagi havo bosimi $P = 0.1 \text{ MPa}$. Siqilganda havoning qizishi e'tiborga olinmasin.

4. $m = 12 \text{ g}$ gaz $t = 7^\circ \text{C}$ haroratda $V = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmni egallaydi. O'zgarmas bosimda u qizdirilganda, uning zichligi $\rho = 6 \cdot 10^{-4} \text{ g/sm}^3$ ga etadi. Gaz qanday haroratgacha qizdirilgan?

5. $m = 10 \text{ g}$ miqdordagi kislorod $t = 10^\circ \text{C}$ haroratda $P = 300 \text{ KPa}$ bosimga ega. Qizdirish hisobiga u kengayib, $V = 10 \text{ l}$ hajmga ega bo'ldi. Gazning kengayishidan oldingi hajmi V_0 hamda kengayishidan oldingi va keyingi zichliklari ρ_1 va ρ_2 lar aniqlansin.

6. Kavsharlangan idishda uning hajmining yarmiga teng bulgan suv bor. Agar bu haroratda suvning bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, $t=400^{\circ}\text{C}$ haroratda suv bug'larining bosimi va zichligi aniqlansin.

7. Hajmi $V=1\text{m}^3$ bo'lgan yopiq idishda $m_1=0.9\text{ kg}$ suv va $m_2=1.6\text{ g}$ kislorod bor. $t=500^{\circ}\text{C}$ haroratda idishlagi hamma suv bug'ga aylanishini bilgan holda, idishdagi bosim P aniqlansin.

8. Idishda $t=10^{\circ}\text{C}$ haroratda va $P=1\text{ MPa}$ bosimda $m_1=14\text{ g}$ azot va $m_2=9\text{ g}$ vodorod joylashgan. Idishning hajmi va aralashmaning molyar massasi μ topilsin.

9. Idishda $m_1=6\text{ g}$ karbonat angidrid (CO_2) va $m_2=5\text{ g}$ azotning (I) oksidi (N_2O) $t=127^{\circ}\text{C}$ haroratda turibdi. Idishning hajmi $V=2\cdot 10^{-3}$. Idishdagi gazlar aralashmasining umumiy bosimi qanday?

10. $t=17^{\circ}\text{C}$ haroratda va $P=0.4\text{ MPa}$ bosimda $m_1=2.8\text{ kg}$ azotdan va $m_2=3.2\text{ kg}$ kisloroddan hosil bo'lgan aralashmaning egallagan hajmi topilsin.

11. Hajmi $V=14\text{ dm}^3$ bo'lgan ballonda $t=7^{\circ}\text{C}$ haroratli va $P=0.12\text{ MPa}$ bosimli $m_0=64\text{ g}$ geliy bilan kislorodning aralashmasi joylashgan. Aralashmadagi geliy massasi m_1 va kislorod massasi m_2 topilsin.

12. $m_1=8\text{ g}$ geliy va $m_2=4\text{ g}$ argondan tashkil topgan aralashmaning $t=7^{\circ}\text{C}$ haroratda va $P=0.1\text{ MPa}$ bosimdagi zichligi aniqlansin.

13. Normal sharoitda barometrik naychaga havo kirib qolgani sababli barometr $P=0.1\text{ MPa}$ bosimni ko'rsatdi. Simob ustidagi havoning zichligi qanday?

14. Gazning harorati $t=20^{\circ}\text{C}$ va bosimi $P=0.5\text{ MPa}$. Agar gazning harorati $t_2=80^{\circ}\text{C}$ ga ko'tarilsa, uning zichligini 2 marta oshirish uchun qanday bosim yuzaga keltirish zarur?

16. Idishda vodorod va azotning aralashmasi joylashgan. Azot to'liq atomlarga dissotsiyalanganda harorat T ga teng bo'lgan bo'lsa, bosim P bo'lgan. Harorat $2T$ ga ko'tarilganda ikkala gaz ham to'liq dissotsiyalangan bo'lib, bosim $3P$ ga teng bo'lgan. Aralashmadagi azot va vodorod massalarining nisbati qanday bo'lgan?

17. Massasi $m=1\text{ g}$, modda miqdori $P=0,2\text{ mol}$ bo'lgan simobda qancha atom bor?

18. Hajmi 1 sm^3 bo'lgan suvning harorati $t=4^{\circ}\text{C}$, suvdagi modda miqdori V va molekular soni N ni aniqlang.

19. Ish tutuzilgan molyar massa μ ni va bitta molekula massasi m ni toping.

20. Modda miqdori $V=0,2\text{ mol}$ bo'lib, 2 l hajmni egallagan kislorod molekularining konsentratsiyaning konsentatsiyasini toping?

21. 3 l idishni egallagan vodorod modda miqdorini aniqlang. Bunda gaz mekulalarining konsentratsiyasini $2\cdot 10^{18}\text{ m}^{-3}$ ga teng deb oling.

22. Sig'imi 3 l li idishda bosimi $P=540\text{ kPa}$ gazning hamma molekulari ilgarilanma harakatni umumiy kinetik energiyasi E_k toping.

23. Geliyning miqdori $V=1.5\text{ mol}$, xarorati $T=120\text{ K}$. Gazning hamma molekulari ilgarilanma harakatining umumiy kinetik energiyasini toping.

24. Harorati $T=500\text{ K}$ bo'lgan bug'ning bitta molekulasining o'rtacha kinetik energiyasi $Y_{e_{o'r}}$ ni toping.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Hajmi $V = 15dm^3$ bo'lgan bir ballonfagi gazning bosimi $P = 0.2$ MPa, ikkinchi ballondagi huddi shu gazning bosimi $P = 1$ MPa haroratlari bir hil bo'lgan ballonlar o'zaro kranli trubka bilan ulangan. Agar kran ochilsa, ikkala ballonning ham bosimi $P = 0.4$ MPa ga teng bo'lib qoladi. Ikkinchi ballonning hajmi qanday?

2. Hajmi $V = 20dm^3$ bo'lgan bug' mashinasining tsilindirdagi bosim klapan ochilgandan so'ng $\Delta P = 0.81$ MPa ga kamaygan. Tsilindrda qanday miqdordagi bug' chiqib ketgan? Bug' haroratini $t = 100^\circ C$ deb hisoblang.

3. Gaz o'lchagich (gazometr) normal sharoitda $m = 0.5$ kg karbonat anhidrid gazini o'z ichiga sig'dira oladi. Agar termometr $t = 17^\circ C$ ni, manometr esa - 93,3 kPa ni ko'rsatib turgan bo'lsa, gazometr ichidagi karbonat anhidrid gazining massasi topilsin.

4. Bosimi $P = 0.2$ MPa va harorat $T = 7^\circ C$ bo'lgan gazning zichligi $\rho = 2.41$ kg/m^3 ga teng. 1 kmol bunday gazning massasi qanchaga teng?

5. 8 g kislorod va 22 g karbonat anhidrid gazidan tashkil topgan aralashma 1 molining massasi topilsin.

6. $t = 17^\circ C$ haroratda va $P = 0.4$ MPa bosimda $m_1 = 2.8$ kg azotdan va $m_2 = 3.2$ kg kisloroddan hosil bo'lgan aralashmaning egallagan hajmi topilsin.

7. Hajmi $V = 14dm^3$ bo'lgan ballonda $t = 7^\circ C$ haroratli va $P = 0.12$ MPa bosimli $m_0 = 64$ g geliy bilan kislorodning aralashmasi joylashgan. Aralashmadagi geliy massasi m_1 va kislorod massasi m_2 topilsin.

8. $m_1 = 8$ g geliy va $m_2 = 4$ g argondan tashkil topgan aralashmaning $t = 7^\circ C$ haroratda va $P = 0.1$ MPa bosimdagi zichligi aniqlansin.

9. Gazning harorati $t = 20^\circ C$ va bosimi $P = 0.5$ MPa. Agar gazning harorati $t_2 = 80^\circ C$ ga ko'tarilsa, uning zichligini 2 marta oshirish uchun qanday bosim yuzaga keltirish zarur?

10. 7. 8 g kislorod va 22 g karbonat anhidrid gazidan tashkil topgan aralashma 1 molining massasi topilsin.

VIII BOB. MOLEKULALARNING TEZLIKLARI TAQSIMOTI VA BOLTSMAN TAQSIMOTI. IDEAL GAZLARNING ICHKI ENERGIYASI VA ISSIQLIK SIG'IMIGA DOIR MASALALAR YECHISH.

8.1. Mavzu: Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni mavzusiga doir masalalar yechish

Ideal gaz molekulalari doimiy, tasodifiy va to'qnashuvchan harakatda bo'ladi. Har bir molekula o'ziga xos tezlikka ega, bu tezliklar doimiy o'zgarib turadi.

Molekulalarning tezliklari Maksvell-Bolsman taqsimotiga bo'ysunadi. Bu taqsimot molekulalarning har qanday tezlikdagi soni va ularning ehtimolini aniqlaydi. Taqsimot grafigi quyidagi ko'rinishga ega:

Gaz molekulalarining tezliklarini aniqlash uchun uch o'lchov mavjud.

1. Eng ehtimoliy tezlik v_e -tezlik taqsimotida eng ko'p uchraydigan tezlik

$$v_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

2. O'rtacha tezlik $v_{o'rt}$ - molekulalarning tezliklarining o'rtacha qiymati

$$v_{o'rt} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

3. O'rtacha kvadratik tezlik v_{kv} - molekulalarning energiyasi bilan bog'liq, eng to'g'ri fizik ahamiyatga ega bo'lgan tezlik

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

Yuqoridagi uch tezlikdan eng ko'p molekulalar eng ehtimoliy tezlikda harakatlanadi, o'rtacha tezlik biroz kattaroq va o'rtacha kvadratik tezlik eng katta. Harorat oshishi bilan molekulalarning tezliklari oshadi, chunki harorat molekulalarning kinetik energiyasining o'rtacha qiymatini belgilaydi.

$$E_k = \frac{3}{2} KT$$

Molyar massa oshishi molekulalar tezligini kamaytiradi, chunki og'ir molekulalar bir xil haroratda sekinroq harakat qiladi.

Masalalar yechish uchun uslubiy ko'rsatmalar

1-masala. Harorati $T=286$ K bo'lgan kislorodning aylanma harakatdagi bitta molekulasini o'rtacha kinetik energiyasi E_K ni hamda massasi $m=4$ g bo'lgan kislorod barcha molekulalarning aylanma harakat kinetik energiyasi W ni toping.

Yechimi: Ma'lumki gaz molekulalarining har bir erkinlik darajasiga bir xil o'rtcha energiya to'g'ri keladi va u shunday ifodalanadi

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

Kislorod molekulasini ikki atomli bo'lgani uchun u ikkita aylanma harakat erkinlik darajasiga ega, shu tufayli kislorodning aylanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi 2 marta katta bo'ladi va quyidagicha aniqlanadi: $E = \frac{1}{2} kT = kT$ bunda

$k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/k ga teng, demak, $E = 3,94 \cdot 10^{21}$ J ni topamiz. Hamma molekularning aylanma harakat o'rtacha; kinetik energiyasi

$$W = NE \quad (1)$$

ifoda bilan topiladi, agar tizimdagi molekular soni Avagadro doimiysining moddalar soni v ga ko'paytmasiga teng deb olsak (1) tenglik quyidagini ifodalaydi

$$W = vN_A E = \frac{m}{\mu} N, E \quad (2)$$

yerda m-gazning massasi: μ -uning molyar massasi (2) ga tegishli kattaliklarni qo'yib $W=296$ J ni topamiz

2-masala. Biror hajmdagi gaz molekularining soni Avagadro doimiysi N_A ga teng. Ushbu gazni ideal deb, V tezligi ehtimollik tezligi v_{eh} dan 0,001 ga kichik bo'lganda molekular soni ΔN aniqlansin.

Yechimi: Masalani echimida molekular nisbiy tezliklarining U bo'yicha taqsimotidan foydalanish qulaydir $\left| U = \frac{v}{v_h} \right|$. Nisbiy tezliklari U dan $U+dU$ oralig'ida bo'lgan molekular soni $dN(U)$ quyidagi formula bilan topiladi

$$dN(U) = -\frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} e^{-U^2} U dU \quad (1)$$

bu erda N -ko'rilayotgan hajmdagi hamma molekular soni; Masala shartiga ko'ra molekularning maksimal tezligi

$$v_{maz} = 0,001 v_b \quad \text{yoki} \quad U_{max} = \frac{v_{max}}{v_h} = 0,001$$

Bunday qiymatlar uchun (1) ifodani soddalashtirib, $U \ll 1$ uchun $e^{-U^2} = 1 - U^2$ deb olib, U^2 - ifodani ushbu ko'rinishda yozish mumkin

$$dN(U) = \frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} U^2 dU \quad (2)$$

2-ifodani u bo'yicha 0 dan U_{max} gacha integrallash natijasida quyidagini hosil qilamiz

$$\Delta N = \frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} \int_0^{max} U dU = \frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} \left| \frac{U^2}{2} \right|_0^{U_{max}} = \frac{4N_A}{2\sqrt{\pi}} U_{max}^2 \quad (3)$$

Bu formulaga $N_A \pi$ ni qiymatlarini qo'yib hisoblaymiz

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{2 \cdot \sqrt{3,14}} \cdot 0,001^2 = 4,63 \cdot 10^4 \quad \text{ta molekula}$$

3-masala. Massalari $m=10^{-18}$ g bo'lgan chang zarrachalari havoda muallaq holda turibdi. Chang zarrachalari kontsentratsiyasining farqi 1 % dan oshmaydigan havo qatlamini aniqlang. Havoning harorati butun hajm bo'yicha bir xil va $T=300$ K ni tashkil etadi.

Yechimi: Muvozanat holatda chang zarrachalarining taqsimlanishidan kontsentratsiya farqat vertikal yo'nalishdagi o'q bo'yicha koordinataga bog'liq.

Bu holatda chang zarrachalarini taqsimoti uchun Boltsman formulasidan foydalanish mumkin $n = n_0 e^{-\frac{W}{kT}}$. Chunki bir jinsli maydonda og'irlik kuchi

$$W_p = mgh, \quad n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

Masalaning shartiga ko'ra balandlikka qarab konsentratsiyaning o'zgarishi $n \left| \frac{\Delta n}{n} \right| = 0,01$ ga nisbatan juda kichikdir. Shu sababli konsentratsiya o'zgarishi Δn ni differentsial dn bilan almashtirish mumkin. (2)- ifodani z bo'yicha differentsiallab, quyidagini hosil qilamiz. $dn = -n_0 \frac{mg}{kT} e^{-\frac{mgZ}{kT}} dZ$. Bu erda $n_0 \frac{mgZ}{kT} = n$ bo'lgani uchun $dn = -\frac{mg}{kT} n dZ$. Ushbu tenglamadan bizni qiziqtirayotgan koordinatalar o'zgarishini topamiz $dZ = \frac{kT \Delta n}{mg n}$. Bu erdagi manfiy ishora koordinatalarning musbat tomonga o'zgarishi ($dZ > 0$) konsentratsiyaning kamayishiga olib kelishini ifodalaydi. Bu masalada manfiy ishora ahamiyatsiz bo'lgani uchun, dZ va dn differentsiallarni ΔZ va Δn tugallangan ortirma bilan almashtirib

$\Delta Z = -\frac{kT}{mg} * \frac{\Delta n}{n}$ ni topamiz. Kattaliklarning qiymatini quyamiz:

$$\frac{\Delta n}{n} = 0,001; k = 1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}; T = 300 \text{ K}; m = 10^{-21} \text{ kg}; g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad \Delta Z = 4,23$$

mm bo'ladi. Hosil bo'lgan natijalarga ko'ra, quyilagini aytish mumkin. Juda kichik chang zarrachalarining ($m = 10^{-18} \text{ kg}$) konsentratsiyasi ham balandlik bo'yicha juda tez o'zgaradi.

Auditoriyada yechiladigan masalalar

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

2. Havodagi muallaq chang zarrachasining o'rtacha kvadratik tezligi havo molekulasining o'rtacha kvadratik tezligidan necha marta kam? Chang massasi 10^{-8} g . Havoni bir kilomolining massasi 29 kg/kmol ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

3. 20°C haroratda vodorod molekulasining harakat miqdori topilsin. Molekulaning tezligini o'rtacha kvadratik tezlikga teng deb hisoblansin.

4. 2 l hajmli idishda 680 mm sim. ust. bosimli 10 g kislorod bor: 1) gaz molekullarning o'rtacha kvadratik tezligi, 2) idishdagi molekullarning soni, 3) gazning zichligi topilsin.

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

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

7. 10°C haroratda 20 g kislorod issiqlik harakat energiyasi nimaga teng? Bu energiyaning qancha qismi molekullarning ilgarilama harakatiga va qancha qismi aylanma harakatga to'g'ri keladi?

8. 15°C haroratda havoning 1 g dagi molekullari issiqlik harakatining kinetik energiyasi topilsin. Havoning bir kilomolining massasi 29 kg/kmol ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

9. 7°C haroratda 1 kg dagi azot molekullarning aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng.

10. $1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda bo'ldan 2 litr hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi nimaga teng.

11. $0,02 \text{ m}^3$ hajmli balondagi azot molekulari ilgari harakatining kinetik energiyasi $2 \cdot 10^3 \text{ J}$ ga o'rtacha kvadratik tezligi esa $2 \cdot 10^3 \text{ m/sek}$ ga teng. 1) ballondagi azotning miqdori, 2) azot qanday bosimda bo'lganligi topilsin.

12. Massasi $m=1 \text{ g}$ bo'lgan quyidagi gazlarda nechtdan atom bor? a) geliy; b) uglerod; v) fluor.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Geliyning atomlari urning tortishish kuchini engib er atmosferasini abadiy tashlab ketishi uchun geliy atomlari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energetik qanday temperaturada etarlicha bo'ladi? Shunga o'xshash masala oy uchun echilsin.

2. $p=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi $\rho=4 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan 1kg 2 atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

3. Quyidagi gazlarning molyar massasi μ ni va bitta molekula massasini m_1 ni toping. – kislorod, - azot, - azot oksidi (NO).

4. Harorati $T=300 \text{ K}$, bosimi $P=1 \text{ mPa}$ bo'lgan ideal gaz molekularining konsentratsiyasining aniqlang.

5. Normal sharoitda hajmi $V=0,5 \text{ l}$ bo'lgan kolbada joylashgan ideal gaz molekularining sonini toping.

8.2. Mavzu: Boltsman taqsimoti va molekularning tezligini o'lchash mavzusiga doir masalalar yechish

Ideal gaz molekulari doimiy, tasodifiy va to'qnashuvchan harakatda bo'ladi. Har bir molekula o'ziga xos tezlikka ega, bu tezliklar doimiy o'zgarib turadi.

Molekularning tezliklari Maksvell-Bolsman taqsimotiga bo'ysunadi. Bu taqsimot molekularning har qanday tezlikdagi soni va ularning ehtimolini aniqlaydi. Taqsimot ko'rinishi quyidagi formula yordamida ifodalaniladi:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

$f(v)$ -tezligi v bo'lgan molekularning nisbiy ehtimoli

m - bitta molekulaning massasi(kg)

$k= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ -Bolsman doimiysi

T -harorat(K)

v -tezlik(m/s)

Gaz molekularining tezliklarini aniqlash uchun uch o'lchov mavjud.

1. Eng ehtimoliy tezlik v_e -tezlik taqsimotida eng ko'p uchraydigan tezlik

$$v_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

2. O'rtacha tezlik v_{ort} - molekularning tezliklarining o'rtacha qiymati

$$v_{ort} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

3. O'rtacha kvadratik tezlik v_{kv} - molekularning energiyasi bilan bog'liq, eng to'g'ri fizik ahamiyatga ega bo'lgan tezlik

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

Yuqoridagi uch tezlikdan eng ko'p molekular eng ehtimoliy tezlikda harakatlanadi, o'rtacha tezlik biroz kattaroq va o'rtacha kvadratik tezlik eng katta. Harorat oshishi bilan molekularning tezliklari oshadi, chunki harorat molekularning kinetik energiyasining o'rtacha qiymatini belgilaydi.

$$E_k = \frac{3}{2} KT$$

Molyar massa oshishi molekular tezligini kamaytiradi, chunki og'ir molekular bir xil haroratda sekinroq harakat qiladi.

1-masala. Azot gazining molekulari 500 K haroratda harakatlanmoqda. Bitta azot molekulasining massasi $4.65 \cdot 10^{-26}$ kg. Eng ehtimoliy tezlik, o'rtacha tezlik, kvadratik o'rtacha tezlikni toping.

Yechish:
$$v_{eh} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 500}{4.65 \cdot 10^{-26}}} \approx 544,8 \text{ m/s}$$

$$v_{ort} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi\mu}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 500}{\pi \cdot 4.65 \cdot 10^{-26}}} \approx 614.6 \text{ m/s}$$

$$v_{kv} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 500}{4.65 \cdot 10^{-26}}} \approx 667.5 \text{ m/s}$$

2-masala. 500 K haroratdagi geliy gazidagi molekularning qancha foizi 800 m/s dan past tezlikda harakatlanishini aniqlang. Geliy atomining massasi $m = 6.64 \cdot 10^{-27}$ kg

$$v_{eh} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 500}{6.64 \cdot 10^{-27}}} \approx 1438 \text{ m/s}$$

Endi 800 m/s nisbiy tezlik ko'rinishida yozamiz:

$$x = \frac{v}{v_{eh}} = \frac{800}{1438} = 0.556 \text{ m/s}$$

$$P(v < 800) = 0.157$$

Taxminan 15.7% geliy molekulari 800 m/s dan past tezlikda harakat qiladi.

3-masala. 450 K haroratda 1 mol vodorod (H_2) gazidagi molekularning 600 m/s dan 1000 m/s gacha bo'lgan tezlik oralig'ida harakatlanayotgan molekular sonini aniqlang. Har bir H_2 molekulasini uchun $m = 3.34 \cdot 10^{-27}$ kg

Yechimi: 1 mol gazda $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ ta molekula bor.

Maksvell - Bolsman taqsimoti bo'yicha $v_1 = 600$ m/s va $v_2 = 1000$ m/s oralig'idagi ehtimol topiladi.

Ehtimoli tezlik quyidagicha aniqlanadi.

$$v_{eh} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 450}{3.34 \cdot 10^{-27}}} \approx \sqrt{3.72 \cdot 10^6} \approx 1929 \text{ m/s}$$

$$x_1 = \frac{600}{1929} \approx 0.311$$

$$x_2 = \frac{1000}{1929} \approx 0.519$$

$$P(600 < v < 1000) \approx F(0.519) - F(0.311) \approx 0.135 - 0.035 \approx 0.1$$

Ya'ni 1 mol gaz molekularining 10 % qismi shu oraliqda.

Hisoblaymiz:

$$N = 0.1 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \approx 6.02 \cdot 10^{22}$$

Demak $6.02 \cdot 10^{22}$ ta molekula 600 m/s dan 1000 m/s gacha tezlikda harakat qiladi.

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Havoning har bir kilomolining massasi 29 kg/kmol ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblab, 17°C temperaturada havo molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

2. Bir xil temperaturadagi geliy va azot molekulari o'rtacha kvadratik tezliklarining nisbati topilsin.

3. Atom bombasi portlash paytida temperatura taxminan 10°C gacha ko'tariladi. Bunday temperaturada hamma molekularni atomlarga dissotsiyalangan, atomlarni esa ionlashgan hisoblab, vodorod ionining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

4. Agar 200 mm.sim.ust. bosimda vodorod molekulasi o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/s ga teng bo'lsa, bu sharoitda 1 sm³ hajmdagi vodorod molekularining soni topilsin.

5. Biror gazning zichligi $6 \cdot 10^{-2}$ kg/m³ ga, molekularining o'rtacha kvadratik tezligi esa 500 m/s ga teng. Gazning idish devoriga ta'sir qilgan bosimi topilsin.

6. Havodagi muallaq chang o'rtacha kvadratik tezligi havo molekulasi o'rtacha kvadratik tezligidan necha marta kam? Changning massasi 10⁻⁸ g. Havoning har bir kilomolining massasi 29kg/kmol ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

7. 20° C temperaturada vodorod molekulasi harakat miqdori topilsin. Molekulaning tezligini o'rtacha kvadratik tezlikka deb hisoblansin.

8. 2l hajmli idishda 680 mm.sim.ust. Bosimli 10 g kislorod bor: 1) gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi, 2) Idishdagi molekular soni, 3) gazning zichligi topilsin.

9. d=1mkm diametrli gummigut zarrachalari broun harakatida ishtirok qiladi. Gummigutning zichligi $\rho=1$ g/sm³, t=0°C temperaturada gummigut zarrachalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

10. Biror gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 450 m/s ga teng. Gazning bosimi $5 \cdot 10^4$ n/m² ga teng. Bu sharoitda gazning zichligi topilsin.

11. 1) 750 mm.sim.ust. Bosimda zichligi $8.2 \cdot 10^{-5}$ g/sm³ ga teng bo'lgan gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin. 2) Agar zichlikning bu qiymati 17°C temperatura uchun berilgan bo'lsa, bu gazning bir kilomol massasi nimaga teng?

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

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 3l hajmli idishda 780 mm.sim.ust. Bosimli 20 g kislorod bor: 1) gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi, 2) Idishdagi molekular soni, 3) gazning zichligi topilsin.

2. $d=0.5\text{mkm}$ diametrl zarrachalar broun harakatida ishtirok qiladi. Zarrachaning zichligi $\rho=1\text{g/sm}^3$, $t=0^\circ\text{C}$ temperaturada zarrachalarning o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

3. Biror gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 550 m/s ga teng. Gazning bosimi $6 \cdot 10^4\text{ n/m}^2$ ga teng. Bu sharoitda gazning zichligi topilsin.

4. 1) 850 mm.sim.ust. Bosimda zichligi $7.2 \cdot 10^{-5}\text{ g/sm}^3$ ga teng bo'lgan gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin. 2) Agar zichlikning bu qiymati 27°C temperatura uchun berilgan bo'lsa, bu gazning bir kilomol massasi nimaga teng?

5. Normal sharoitda biror gazning o'rtacha kvadratik tezligi 560 m/s ga teng. Bu gazning 1 g dagi molekularining soni qancha?

8.3. Mavzu: Ideal gazning ichki energiyasi mavzusiga doir masalalar yechish.

Ichki energiya - bu gaz molekularining harakat energiyasi va o'zaro ta'sir energiyasining yig'indisidir. Ideal gazlarda molekular o'zaro kuchli ta'sir qilmaydi, shuning uchun ichki energiya faqat molekularning kinetik energiyasiga teng.

Ideal gazning ichki energiyasi formulasi quyidagicha ifodalaniladi.

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu RT$$

ΔU - gazning ichki energiyasi

i - erkinlik darajasi

R - universal gaz doimiysi

T - temperaturalar farqi

1-masala. 1 mol ideal gaz 300 K haroratda va $0,025\text{ m}^3$ hajmda. Gazning harorati 600 K ga ko'tarildi. Hajm va bosim qanday o'zgarishini toping. Shuningdek, ichki energiyaning o'zgarishini hisoblang.

$$\nu = 1\text{ mol}$$

$$T_1 = 300\text{ K}$$

$$T_2 = 600\text{ K}$$

$$V_1 = 0.025\text{ m}^3$$

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

$$i = 3$$

$$Q - ? \quad \Delta U - ? \quad V - ?$$

$$P = \frac{\nu RT_1}{V_1} = \frac{1 \cdot 8.31 \cdot 300}{0.025} = 99720\text{ Pa} \approx 10^5\text{ Pa}$$

$$V_2 = V_1 = 0.025\text{ m}^3$$

$$P_2 = \frac{\nu RT_2}{V_2} = \frac{1 \cdot 8.31 \cdot 600}{0.025} = 199440\text{ Pa}$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8.31 \cdot (600 - 300) = 3739.5\text{ J}$$

Agar bosim o'zgarmasa $P_2 = P_1 = 99720\text{ Pa}$

$$V_2 = \frac{1 \cdot 8.31 \cdot 60}{99720} = 0.05\text{ m}^3$$

2-masala.

2 mol ideal gazni izoxorik (hajm o'zgarimas) ravishda 300 K dan 500 K gacha qizitish uchun qancha issiqlik kerak bo'ladi?

$$\nu=2 \text{ mol}$$

$$T_1=300 \text{ K}$$

$$T_2=500 \text{ K}$$

$$i=5$$

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

$$\Delta U=? \quad Q=? \quad \text{-----}$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 8.31 (500 - 300) = 5 \cdot 8.31 \cdot 200 = 8310 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U = 8310 \text{ J}$$

3-masala. 1 mol ideal gaz 400 K dan 700 K gacha izobarik ravishda qizitildi. Gaz tomonidan bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini toping. Shuningdek issiqlik miqdorini ham hisoblang.

$$\nu=1 \text{ mol}$$

$$T_1=400 \text{ K}$$

$$T_2=700 \text{ K}$$

$$i=3$$

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

$$\Delta U=? \quad Q=?$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8.31 (700 - 400) = 1.5 \cdot 8.31 \cdot 300 = 3739.5 \text{ J}$$

$$A = \nu R (T_2 - T_1) = 1 \cdot 8.31 \cdot (700 - 400) = 8.31 \cdot 300 = 2493 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U + A = 3739.5 + 2493 = 6232.5 \text{ J}$$

Auditoriyada bajariladigan masalalar

1. Gazning bosimi $P=1 \text{ mPa}$, molekular konsentratsiyasi $n=10^{10} \text{ sm}^{-3}$ bo'lganda gaz harorati T ni molekular ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi E_k ni toping;

2. Harorati $T=600 \text{ K}$ bo'lgan suv bug'i molekulasining ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi E_k ning va to'liq kinetik energiyasining o'rtacha qiymatini hamda $\nu=1 \text{ kmol}$ modda miqdoriga ega bo'lgan suv bug'ining hamma molekulari ilgarilanma harakat energiyasi W ni aniqlang.

3. $p=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi $\rho=4 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan 1 kg 2 atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

4. $p=40 \text{ mm sim.ust}$ bosimda va $t=27^\circ\text{C}$ haroratda $V=10 \text{ sm}^3$ hajmni egallagan 2 atomli gaz molekularining soni qancha? Bu molekularning issiqlik harakati energiyasi qancha?

5. Massasi $m=40 \text{ g}$ bo'lgan kislorodni $t=20^\circ\text{C}$ haroratdagi ichki energiyasi U ni toping. Bu energiyaning qanday qismi molekulaning ilgarilanma xarakatiga, qanday qismi aylanma harakatga to'g'ri keladi?

6. Massasi $m=0.5 \text{ kg}$ azotdagi molekularning $t=17^\circ\text{C}$ haroratdagi aylanma harakat energiyasi E ni toping.

7. Hajmi $V=2 \text{ l}$ bo'lgan idishda 150 kPa bosim ostida turgan ikki atomli gazning ichki energiyasi ΔU ni toping.

8. 3 mol ideal gaz 300 K dan 600 K gacha izobarik ravishda qizitildi. Gaz tomonidan bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini toping. Shuningdek issiqlik miqdorini ham hisoblang.

9. 1.5 mol ideal gaz 500 K dan 800 K gacha izobarik ravishda qizitildi. Gaz tomonidan bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini toping.

10. 2 mol ideal gaz 100 K haroratda va 0,15 m³ hajmda. Gazning harorati 400 K ga ko'tarildi. Hajm va bosim qanday o'zgarishini toping. Shuningdek, ichki energiyaning o'zgarishini hisoblang.

11. 1 mol ideal gaz 500 K haroratda va 0,25 m³ hajmda. Gazning harorati 800 K ga ko'tarildi. Shuningdek, ichki energiyaning o'zgarishini hisoblang.

12. Hajmi V=3 l bo'lgan idishda 250 kPa bosim ostida turgan uch atomli gazning ichki energiyasi ΔU ni toping.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Massasi m=20 g bo'lgan kislorodni t=10°C haroratdagi ichki energiyasi U ni toping. Bu energiyaning qanday qismi molekulaning ilgarilanma xarakatiga, qanday qismi aylanma harakatga to'g'ri keladi?

2. Massasi m=1 kg azotdagi molekularning t=7°C haroratdagi aylanma harakat energiyasi E ni toping.

3. Hajmi V=2 l bo'lgan idishda 150 kPa bosim ostida turgan ikki atomli gazning ichki energiyasi U ni toping.

4. Tezliklari o'rtacha arifmetik tezlikdan 0,5% dan ko'pga farq qilmaydigan molekularning nisbiy soni topilsin.

5. T₁ va T₂ = 2 T₁ haroratlarda Maksvell taqsimoti egri chiziqlari tezlik v ning qanday qiymatlarida o'zaro kesishadi?

8.4. Mavzu: Issiqlik miqdori va issiqlik balansi mavzusiga doir masalalar yechish

Issiqlik miqdori - bu modda tomonidan o'zlashtirilgan yoki yo'qotilgan energiya miqdoridir. Uni quyidagi formula orqali hisoblaymiz:

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

Q-issiqlik miqdori, J

c-solishtirma issiqlik sig'imi, J/kg·°C

m-modda massasi, kg

t₂-t₁-temperatura o'zgarishi, °C

Issiqlik balansi - bu issiq jismlardan chiqayotgan issiqlik miqdori sovuq jismlar tomonidan o'zlashtirilgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + \dots + Q'_N$$

Bu qonun ko'pincha issiqlik almashinuvi masalalarida qo'llanadi, masalan, issiq suvga sovuq suv qo'shilganda, yoki issiq temir sovuq suvga tashlanganda.

1-masala. v=1 mol modda miqdoridagi ikki atomli ideal gaz bosimi P=250 kPa va V=10 l hajimni egallaydi. Avval gaz izohorik ravishda T=400⁰ K gacha qizdirilgan, so'ngra izotermik ravishda kengaytirilib, boshlang'ich bosimgacha keltirilgan. Undan keyin gaz izobarik ravishda siqilib u boshlang'ich holatiga keltiriladi. Siklning FIK aniqlansin.

Yechish. Sikl 1-2 izoxora, 2-3 izoterma va 3-1 izobaradan tashkil topgan. Har qanday Siklning FIK quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

bu erda Q_1 - sikl davomida gazning isitgichdan olgan issiqlik miqdori. Q_2 - sikl davomida gazning sovutgichga bergan issiqlik miqdori. Issiqlik miqdorlar farqi

$Q_1 - Q_2$ sikl davomida gaz bajargan ish A ga teng. Ishchi modda (gaz) Q_1 issiqlik miqdorini siklning ikki qismida: yani $Q_{1,2}$ ni 1-2 davomida izohorik jarayonda va $Q_{2,3}$ ni 2-3 izotermik jarayon davomida oladi.

$$\text{Demak, } Q_1 = Q_{1,2} + Q_{2,3} \quad (2)$$

Izohorik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng:

$$Q_{1,2} = C_v \nu (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Bu erda C_v - o'zgarmas hajimdagi gazning molyar issiqlik sig'imi, ν - modda miqdori. Mendeleyev- Klapeyron tenglamasidan foydalanib, boshlang'ich holat xarorati T_1 ni aniqlash mumkin

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{\nu R} \quad (4)$$

Izotermik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng

$$Q_{2,3} = \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5)$$

Bu erda V_2 - xarorati T_2 va bosimi P_1 bo'lgan gazning egallagan hajmi; 2-1 izobarik jarayon davomida Q_2 issiqlik miqdorini beradi

$$Q_2 = Q_{3,1} = C_p \nu (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Bu erda C_p - izobarik jarayonda gazning molyar issiqlik sig'imi Q_1 va Q_2 uchun chiqarilgan ifodalarni (1) formulaga qo'yamiz

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\nu C_p (T_2 - T_1)}{\nu C_p (T_2 - T_1) + \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (7)$$

Chiqarilgan ifodadai hajmlar nisbatini Gey-Lyussak qonuniga binoan xaroratlar nisbati bilan almashtirsak bo'ladi $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$. Molyar issiqlik sig'imlar C_v va C_p ni molekulaning erkinlik darajasi orqali ifodalash mumkin

$$C_v = \frac{i}{2} R; \quad C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (8)$$

U holda bu ifodalarni (7) formulaga qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\eta = 1 - \frac{(i+2)(T_2 - T_1)}{i(T_2 - T_1) + 2T_2 \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (9)$$

Hisoblarni o'tkazib, quyidagini topamiz $\eta = 0,041 = 4,1\%$.

2-masala. 1 kg temir ($c = 460 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) 200°C da, 2 kg suv esa 20°C da. Temir suvga solindi. Tizim issiqlik almashinuv natijasida qaysi haroratda muvozanatga keladi? (Issiqlik yo'qotilishi bo'lmaydi.)

$$\begin{aligned}
m_1 &= 1 \text{ kg} \\
C_1 &= 460 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} \\
t_1 &= 200^\circ\text{C} \\
m_2 &= 2 \text{ kg} \\
C_2 &= 4200 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} \\
t_2 &= 20^\circ\text{C} \\
t &=? \\
1 \cdot 460 \cdot (200-t) &= 2 \cdot 4200(t-20) \\
460(200-t) &= 8400(t-20) \\
200-t &= 20t-400 \\
t &= 30^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

3-masala. 0°C da 0.3 kg muz 60°C haroratli 1 kg suvga tashlandi. Tizim issiqlik o'tkazmaydigan idishda. Issiqlik yo'qotilishi yo'q. Muz butunlay eriydi, lekin hosil bo'lgan suv isimaydimi? Yakuniy harorat qancha bo'ladi?

$$\begin{aligned}
C &= 4200 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} \\
\lambda &= 3.4 \cdot 10^5 \text{ J/kg} \\
Q_{\text{me}} &= \lambda m = 3.4 \cdot 10^5 \cdot 0.3 = 102000 \text{ J} \\
Q_{\text{sy}} &= m \cdot c(t_0-t) \\
102000 &= 4200(60-t) \\
60-t &= 25 \\
t &= 35^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

Muz to'liq eriydi, hosil bo'lgan suv isimaydi.

Auditoriyada yechiladigan masalalar

- 320 g kislorodni 10 K ga izobarik qizdirganda bajarilgan ishni toping.
- Ikkita slindrda harakatlanuvchi porshenlar ostida bir xil massasi vodorod va kislorodning izobarik qizishda bajarilgan ishlarni taqqoslang.
- Massasi 290 g bo'lgan havoni 20 K ga izobarik qizdirganda u qancha ish bajarilgan va bunda unga qancha issiqlik miqdori berilgan?
- 800 mol gazni 500 K ga izobarik qizdirganda unga 9.4 MJ issiqlik miqdori berildi. Bunda gaz bajarilgan ishni uning ichki energiyasi qancha ortganini aniqlang.
- Azot doimiy bosimda qizdirilganda uning solishtirma issiqlik sig'imi $1.05 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$, doimiy hajmda qizdirilganda $0.75 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$. Nima uchun bu kattaliklarning qiymati turlicha? Massasi 1 kg bo'lgan azot 1 K qizdirilganda qancha ish bajaradi?
- Temperaturasi 27°C bo'lgan 160 g kislorod izobarik qizdirilganda uning hajmi ikki marta ortadi. Gazning kengayishida bajarilgan ishni, kislorodni qizdirishga ketgan issiqlik miqdorini aniqlang.
- O'zgarmas bosimda gazni qizdirishga ketgan issiqlik miqdori gazning kengayishida bajaradigan ishidan necha marta katta?
- Modda miqdori 10 mol bo'lgan bir atomli gazni 100 K ga izobarik qizdirganda bu gazning ichki energiyasi qancha o'zgargan? Bunda gaz qanday ish bajarilgan va unga qancha miqdorda issiqlik berilgan?
- Izobarik protsessda bir atomli gazga berilgan issiqlik miqdorining qancha qismi ichki energiyaning ortishiga va qancha qismi ish bajarishga sarf bo'ladi?

10. Molyar massa M bo'lgan bir atomli gazning o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi $C_p = \frac{5R}{2M}$ formuladan topilishini isbotlang. Geliyning o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imini toping.

11. 0°C da 0.6 kg muz 50°C haroratli 0.8 kg suvga tashlandi. Tizim issiqlik o'tkazmaydigan idishda. Issiqlik yo'qotilishi yo'q. Muz butunlay eriydi, lekin hosil bo'lgan suv isiydimi? Yakuniy harorat qancha bo'ladi?

12. Temperaturasi 17°C bo'lgan 250 g kislorod izobarik qizdirilganda uning hajmi uch marta ortadi. Gazning kengayishida bajarilgan ishni, kislorodni qizdirishga ketgan issiqlik miqdorini aniqlang.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Massasi 500 g bo'lgan temir parcha 150°C gacha qizdirilgan. Uni 20°C haroratdagi 1 kg suvga solishadi. Suvning va temirning issiqlik sig'implari mos ravishda $c_{\text{suv}}=4200\text{ J/kg}^\circ$, $c_{\text{temir}}=460\text{ J/kg}^\circ\text{C}$. Issiqlik almashinuvi faqat temir va suv orasida bo'lgan deb hisoblab, yakuniy haroratni aniqlang.

2. 700 g suv 25°C dan 80°C gacha isitildi. Shu isitish uchun sarflangan issiqlik miqdorini hisoblang. Suvning solishtirma issiqlik sig'imi $4200\text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ga teng.

3. Massasi 300 g bo'lgan alyuminiy idishga 1 litr 90°C suv quyildi. Idish dastlab 20°C da edi. Alyuminiy uchun $c=900\text{ J/kg}^\circ$. Issiqlik balansi asosida yakuniy haroratni toping. Tizim issiqlik almashinmasi yopiq deb faraz qilinsin.

4. $0,5\text{ kg}$ suv va $0,2\text{ kg}$ misning aralashmasi bor. Suv 60°C , mis esa 20°C haroratda. Misning solishtirma issiqlik sig'imi $c=380\text{ J/kg}^\circ\text{C}$. Yakuniy haroratni hisoblang.

5. Massasi 2 kg bo'lgan muz bo'lagi 0°C da joylashgan. Uni eritish uchun qancha issiqlik kerak bo'ladi? Muzning erish issiqligi $\lambda=3,3 \times 10^5\text{ J/kg}$.

IX BOB. TERMODINAMIKANING ASOSIY QONUNLARI. ISSIQLIK MASHINALARI VA ENTROPIYAGA DOIR MASALALAR YECHISH.

9.1. Mavzu: Termodinamikaning 1-qonuni mavzusiga doir masalalar yechish

Termodinamikaning 1-qonuni energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi: Sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasini o'zgartirishga va tashqi kuchlar ustida bajarilgan ishga teng bo'ladi.

$$dQ = d\Delta U + dA$$

dQ - gazning olgan issiqlik miqdori

ΔU - ichki energiyaning o'zgarishi

dA - gaz hajmi o'zgarganda bajarilgan ish

Gazning ichki energiyasining o'zgarishi quyidagi formula yordamida ifodalaniladi.

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1);$$

Gazning hajmi o'zgarganda bajarilgan to'la ish quyidagi formula yordamida ifodalaniladi:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Gazning hajmi izotermik o'zgarganda bajarilgan ish,

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Adiabatik protsessda gaz bosimi bilan hajmining o'zaro bog'lanishi Puasson tenglamasi bilan ifodalanadi

$$P V^\kappa = \text{const}$$

$$\kappa = \frac{C_P}{C_V}$$

Puasson tenglamasini quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin.

$$T V^{\kappa-1} = \text{const},$$

$$\text{Ya'ni } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$$

1-masala. Silindrda porshen ostida $T = 300 \text{ K}$ haroratda massasi $m = 0.02 \text{ kg}$ bo'lgan vodorod bor. Vodorod avval adiabatik ravishda kengayib o'z hajmini $n_1 = 5$ marta orttirdi, so'ngra esa, izometrik ravishda siqildi, bunda uning hajmi $n_2 = 5$ marta kamaydi. Adiabatik kengayishi oxirida haroratni va gazning bu jarayonlarda bajargan ishini toping.

Yechimi. Adiabatik jarayonda ish bajarayotgan gazning haroratlari va hajmlari quyidagicha bog'langan $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$ yoki $\frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n^{\gamma-1}}$ bu erda γ - gazning o'zgarmas bosimdagi va o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'implarining nisbati (vodorod ikki atomli gaz bo'lgani uchun $\gamma = 1.4$)

$$n = \frac{V_2}{V_1} = 5$$

Bundan oxirgi T harorat uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz: $T_2 = \frac{T_1}{n^{r-1}}$

Berilgan kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, T ni topamiz
 $T_2 = \frac{300}{5^{1.4-1}} K = \frac{300}{5^{0.4}} K, 5^{0.4} = 1.91$ bo'lgani sababli $T_2 = \frac{300}{1.91} = 157^0 K$

Gazning adiabatik kengayishidagi ish A_1 quyidagi formuladan topiladi

$$A_1 = \frac{m}{\mu} c_{vv}(T_1 - T_2) = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R(T_1 - T_2)$$

Bu erda C_{vv} o'zgarmas bosimdagi gazning molyar issiqlik sig'imi. Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz.

2-masala. $\nu=1$ mol modda miqdoridagi ikki atomli ideal gaz bosimi $P=250$ kPa va $V=10$ l hajmini egallaydi. Avval gaz izohorik ravishda $T=400^0 K$ gacha qizdirilgan, so'ngra izotermik ravishda kengaytirilib, boshlang'ich bosimgacha keltirilgan. Undan keyin gaz izobarik ravishda siqilib u boshlang'ich holatiga keltiriladi. Siklning FIK aniqlansin.

Yechish. Sikl 1-2 izohora, 2-3 izoterma va 3-1 izobaradan tashkil topgan. Har qanday Siklning FIK quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

bu erda Q_1 - sikl davomida gazning isitgichdan olgan issiqlik miqdori. Q_2 - sikl davomida gazning sovutgichga bergan issiqlik miqdori. Issiqlik miqdorlar farqi

$Q_1 - Q_2$ sikl davomida gaz bajargan ish A ga teng. Ishchi modda (gaz) Q_1 issiqlik miqdorini siklning ikki qismida: yani $Q_{1,2}$ ni 1-2 davomida izohorik jarayonda va $Q_{2,3}$ ni 2-3 izotermik jarayon davomida oladi.

$$\text{Demak, } Q_1 = Q_{1,2} + Q_{2,3} \quad (2)$$

Izohorik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng:

$$Q_{1,2} = C_{\nu} \nu (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Bu erda C_{ν} - o'zgarmas hajimdagi gazning molyar issiqlik sig'imi, ν - modda miqdori. Mendeleyev- Klapeyron tenglamasidan foydalanib, boshlang'ich holat xarorati T_1 ni aniqlash mumkin

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{\nu R} \quad (4)$$

Izotermik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng

$$Q_{2,3} = \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5)$$

Bu erda V_2 - xarorati T_2 va bosimi P_1 bo'lgan gazning egallagan hajmi; 2-1 izobarik jarayon davomida Q_2 issiqlik miqdorini beradi

$$Q_2 = Q_{3,1} = C_p \nu (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Bu erda C_p - izobarik jarayonda gazning molyar issiqlik sig'imi Q_1 va Q_2 uchun chiqarilgan ifodalarni (1) formulaga qo'yamiz

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\nu C_p (T_2 - T_1)}{\nu C_p (T_2 - T_1) + \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (7)$$

Chiqarilgan ifodadai hajmlar nisbatini Gey-Lyussak qonuniga binoan xaroratlar nisbati bilan almashtirsak bo‘ladi $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$. Molyar issiqlik sig‘imlar C_v va C_p ni molekulaning erkinlik darajasi orqali ifodalash mumkin

$$C_v = \frac{i}{2} R; \quad C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (8)$$

U holda bu ifodalarni (7) formulaga qo‘ysak, quyidagiga ega bo‘lamiz

$$\eta = 1 - \frac{(i+2)(T_2 - T_1)}{i(T_2 - T_1) + 2T_2 \ln \left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \quad (9)$$

Hisoblarni o‘tkazib, quyidagini topamiz $\eta = 0,041 = 4,1\%$.

3-masala:

Karno ideal sikli bo‘yicha ishlayotgan issiqlik mashinasining isitkichi $2 \cdot 10^3$ kall issiqlik olayпти va uning 80% ini sovutkichga berayпти. Mashinaning sikl foydali ish koeffitsiyenti va ishini toping.

Berilgan:

$$Q_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ kall}; \quad Q_2 = 0,8Q_1; \quad \eta = ?; \quad A = ?$$

Masalaning echilishi: Siklning foydali ish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{Q_1 - 0,8Q_1}{Q_1} \cdot 100\% \quad \text{yoki} \quad \eta = (1 - 0,8) \cdot 100\%$$

Hisoblaymiz: $\eta = (1 - 0,8) \cdot 100\% = 20\%$, $A = Q_1 - Q_2 = Q_1 \cdot \eta = 0,2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 400$ kall yoki $400 \cdot 4,18 = 1670$ J

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Massasi $m = 20$ g bo‘lgan kislorodni $t = 10^\circ\text{C}$ haroratdagi ichki energiyasi U ni toping. Bu energiyaning qanday qismi molekulaning ilgarilanma xarakteriga, qanday qismi aylanma harakatga to‘g‘ri keladi?

2. Massasi $m = 1$ kg azotdagi molekullarning $t = 7^\circ\text{C}$ haroratdagi aylanma harakat energiyasi $\langle Y_{e_{ayl}} \rangle$ ni toping.

3. Hajmi $V = 2$ l bo‘lgan idshda 150 kPa bosim ostida turgan ikki atomli gazning ichki energiyasi U ni toping.

4. Biror 2 atomli gazning o‘zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig‘imi 3,5 kal/g·gradga teng. Bu gaz 1 kilomolining massasi nimaga teng.

5. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitida zichligi $1,43 \text{ kg/m}^3$ bo‘lsa, bu gazning c_v va c_p solishtirma issiqlik sig‘imlari nimaga teng.

6. Agar azot uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbatning 1,47 ga tengligi ma,lum bo‘lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

7. 3 kilomol argon va 2 kilomol azotdan iborat bo‘lgan gaz aralashmasining o‘zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig‘imi topilsin.

8. 8 g geliy va 16 g kisloroddan iborat bo'lgan gaz aralashmasi uchun $\frac{c_p}{c_v}$

nisbati topilsin.

9. 1 kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarish hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 430 j/kg·grad ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor.

9. 10⁰C tempetaturada 10g kislorod 3·10⁵N/m² o'zgarish bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib, 10 l hajmni egallaydi. 1) gazning olingan issiqlik miqdori 2) gaz molekularining oldingi va keyingi harakat energiyasi topilsin.

10. Ikki l hajmli yopiq idishda 10⁰C haroratda 12 g azot bor. Isitilgandan keyin bosim 1,33 MPaga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan.

11. Harorat T=300 K va bosim P=5 MPa bo'ganda, hajmi V=30 l balonida nechta gaz molekulasi bo'ladi?

12. Massasi m=10 g bo'lgan azot molekularining uchdan bir qismi atomlarga parchalandi. Shunday gazdagi hamma zarrachalar soni N ni aniqlang.

13. Biror 2 atomli gazning o'zgarish bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 3,5 kal/g·gradga teng. Bu gaz 1 kilomolining massasi nimaga teng.

14. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitida zichligi 1,43 kg/m³ bo'lsa, bu gazning c_v va c_p solishtirma issiqlik sig'imlari nimaga teng.

15. Agar azot uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbatning 1,47 ga tengligi ma'lum bo'lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

16. 3 kilomol argon va 2 kilomol azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarish bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

17. Massasi m=10 g bo'lgan azot molekularining uchdan bir qismi atomlarga parchalandi. Shunday gazdagi hamma zarrachalar soni N ni aniqlang.

18. 1 kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarish hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 430 j/kg·grad ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor.

19. 10⁰C tempetaturada 10g kislorod 3·10⁵N/m² o'zgarish bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib, 10 l hajmni egallaydi. 1) gazning olingan issiqlik miqdori 2) gaz molekularining oldingi va keyingi harakat energiyasi topilsin.

20. Ikki l hajmli yopiq idishda 10⁰C haroratda 12 g azot bor. Isitilgandan keyin bosim 1,33 MPaga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan.

21. Harorat T=300 K va bosim P=5 MPa bo'ganda, hajmi V=30 l balonida nechta gaz molekulasi bo'ladi?

22. Massasi m=10 g bo'lgan azot molekularining uchdan bir qismi atomlarga parchalandi. Shunday gazdagi hamma zarrachalar soni N ni aniqlang.

23. Hajmi V=100 sm³ bo'lgan kolbada harorati T=300 K ga teng gaz bor. Agar kolbada to'kilish natijasida N=10²⁰ molekula chiqib ketsa, gazning bosimi P qanchaga o'zgaradi?

24. 2 kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarish hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 460 j/kg·grad ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. $p=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi $\rho=4\text{kg/m}^3$ bo'lgan 1kg 2 atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

2. $p=40\text{mm sim.ust}$ bosimda va $t=27^\circ\text{C}$ haroratda $V=10\text{sm}^3$ hajmni egallagan 2 atomli gaz molekularining soni qancha? Bu molekularning issiqlik harakati energiyasi qancha?

3. 1) $V=\text{const}$ va 2) $p=\text{const}$ bo'lganda kislorodning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

4. O'zgarmas bosimda quyidagi gazlarni: 1) vodorod xlorid 2) neon 3) azot ikki oksidi 4) uglerod oksidi va 5) simob bug'ining solishtirma issiqlik sig'imlari topilsin.

5. O'zgarmas bosimda kislorod uchun solishtirma issiqlik sig'imining o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imining nisbati topilsin.

6. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitida zichligi $1,43 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, bu gazning c_v va c_p solishtirma issiqlik sig'imlari nimaga teng.

7. Agar azot uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbatning 1,47 ga tengligi ma'lum bo'lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

8. 3 kilomol argon va 2 kilomol azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

9. O'zgarmas bosimda quyidagi gazlarni: 1) vodorod 2) kislorod 3) azot bug'ining solishtirma issiqlik sig'imlari topilsin.

10. $p=9 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi $\rho=50\text{kg/m}^3$ bo'lgan 0.5kg 2 atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

9.2. Mavzu: Termodinamikaning 2-qonuni mavzusiga doir masalalar yechish

Termodinamikaning ikkinchi qonuni issiqlikning ishga aylanishi bilan bog'liq bo'lib, issiqlik dvigatellarining maksimal samaradorligi shartlarini belgilaydi. Asosiy g'oyalar shundan iboratki, issiqlik tabiiy ravishda yuqori haroratdan past haroratga o'tadi, to'liq ishga aylana olmaydi, tizimlarning o'z-o'zidan tartibsizligi (entropiyasi) ortib boradi va har qanday jarayonning teskarisi yuz berishi mumkin emas.

1-masala. Issiqlik mashinasi sovitkichining harorati 27°S , isitkichning temperaturasi 107°S . Agar ishchi modda 800 J foydali ish bajargan bo'lsa, isitkich qancha issiqlik miqdori uzatgan?

Berilgan: $t_1^\circ=27^\circ\text{C}$; $T_1=300 \text{ K}$, $t_2^\circ=107^\circ\text{C}$; $T_2=380 \text{ K}$,

$A_f=800 \text{ J}$; $Q_1=?$

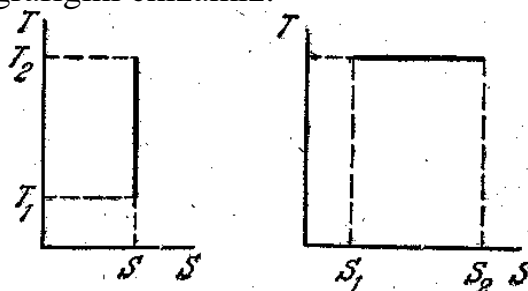
Masalaning echilishi: Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti

(FIK) formulalari $\eta = \frac{A_f}{Q_1}$ $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Bu formulalarni o'zaro tenglashtirib Q_1 ni

aniqlaymiz: $Q_1 = \frac{A_f \cdot T_1}{T_1 - T_2}$, Hisoblash: $Q_1 = \frac{2400 \cdot 380}{380 - 300} = \frac{8000 \cdot 380}{80} = 3800 \text{ J}$

2-masala. Adiabatik va izotermik jarayonlar uchun haroratning entropiyaga bog‘liqlik (T-S) diagrammasini chizing.

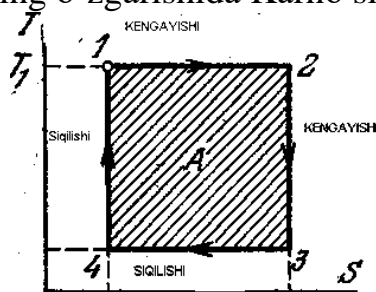
Masalaning echilishi: $Q=const$ va $T=const$ holatda haroratning entropiyaga bog‘liqlik grafigini chizamiz:



3-masala: T-S koordinatada Karno siklini chizing va uning foydali ish koeffitsiyentini toping.

Masalaning echilishi:

Harorat va entropiyaning o‘zgarishida Karno sikli grafigini chizamiz:



Endi Karno siklining foydali ish koeffitsiyentini topamiz:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar.

1. Biror ikki atomli gazning o‘zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig‘imi 3.5 kal/g·grad ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?

2. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitda zichligi 1.43 kg/m³ bo‘lsa, bu gazning C_V va C_P solishtirma issiqlik sig‘imlari nimaga teng.

3. Agar biror gaz bir kilomolining massasi $\mu=30\text{kg/kmol}$ ga tengligi va uning uchun $\frac{C_P}{C_V}=1.4$ nisbati ma’lum bo‘lsa, gazning C_P va C_V solishtirma issiqlik sig‘imlarinigamaga teng?

4. Qaldiroq gaz (vodorod bilan kislorodning portlovchi aralashmasi) ning issiqlik sig‘imidan necha marta katta? Masala $V=const$ holi uchun echilsin.

5. Agar kislorodning o‘zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig‘imi 1050 J/kg·grad ga teng bo‘lsa, uning dissotsiya darajasi nimaga teng?

6. Dissotsiya darajasi 50% ga teng bo‘lsa, bug‘simon yodning C_P va C_V solishtirma issiqlik sig‘imlari topilsin. Yodning bir kilomol massasi 254 kg/kmol ga teng.

7. Agar azot uchun $\frac{C_P}{C_V}$ nisbatning 1.47 ga tengligi ma’lum bo‘lsa, uning dissotsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

8. 3 kmol argon va 2 kmol azotdan iborat bo‘lgan gaz aralashmasining o‘zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig‘imi topilsin.

9. 8 g geliy va 16 g kisloroddan iborat bo'lgan gaz aralashmasi uchun $\frac{C_p}{C_v}$ nisbat topilsin.

10. Bir kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 430 J/kg·grad ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor?

11. 10⁰C temperaturada 10 g kislorod 3·10⁵ N/m² o'zgarmas bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib 10 l hajmni egallaydi. Gaz olgan issiqlik miqdorini aniqlang.

12. 2 l hajmli yopiq idishda 10⁰C 12 g azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 10⁴ mm.sim.ust. Ga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. kmol argon va 3 kmol azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

2. 18 g geliy va 16 g kisloroddan iborat bo'lgan gaz aralashmasi uchun $\frac{C_p}{C_v}$ nisbat topilsin.

3. Uch kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 430 J/kg·grad ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor?

4. 10⁰C temperaturada 10 g kislorod 3·10⁵ N/m² o'zgarmas bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib 10 l hajmni egallaydi. Gaz olgan issiqlik miqdorini aniqlang.

5. 2 l hajmli yopiq idishda 10⁰C 12 g azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 10⁴ mm.sim.ust. ga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan.

9.3. Mavzu: Issiqlik mashinalari va Karno sikli mavzusiga doir masalalar yechish

Issiqlik mashinalarida sodir bo'ladigan jarayonlarda issiqlik miqdori hisobida A ish bajariladi. Tashqaridan olingan va tashqariga qaytarib berilgan issiqlik miqdorining qiymatlari orasidagi $Q_1 - Q_2 = A$ ga teng bo'ladi.

Isitgichdan olingan issiqlik miqdori Q_1 issiqlik miqdorining qancha qismi A ishga aylanganini bilish katta ahamiyatga egadir. Chunki sovutgichga berilgan Q_2 issiqlik miqdorining amaliy ahamiyati yo'q. Shuning uchun F.I.K. tushunchasi kiritiladi.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} = \frac{A}{Q_2}$$

Karno sikli ikkita izoterma va ikkita adiabatadan iborat bo'lgan qaytuvchi aylanma protsess.

Masalalar yechish namunalari

1-masala. $\nu=1$ mol modda miqdoridagi ikki atomli ideal gaz bosimi $P=250$ kPa va $V=10$ l hajmni egallaydi. Avval gaz izohorik ravishda $T=400^0$ K gacha qizdirilgan, so'ngra izotermik ravishda kengaytirilib, boshlang'ich bosimgacha

keltirilgan. Undan keyin gaz izobarik ravishda siqilib u boshlang'ich holatiga keltiriladi. Siklning FIK aniqlansin.

Yechish. Sikl 1-2 izohora, 2-3 izoterma va 3-1 izobaradan tashkil topgan. Har qanday Siklning FIK quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

bu erda Q_1 - sikl davomida gazning isitgichdan olgan issiqlik miqdori. Q_2 - sikl davomida gazning sovutgichga bergan issiqlik miqdori. Issiqlik miqdorlar farqi

$Q_1 - Q_2$ sikl davomida gaz bajargan ish A ga teng. Ishchi modda (gaz) Q_1 issiqlik miqdorini siklning ikki qismida: yani $Q_{1,2}$ ni 1-2 davomida izohorik jarayonda va $Q_{2,3}$ ni 2-3 izotermik jarayon davomida oladi.

$$\text{Demak, } Q_1 = Q_{1,2} + Q_{2,3} \quad (2)$$

Izohorik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng:

$$Q_{1,2} = C_v \nu (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Bu erda C_v - o'zgarmas hajimdagi gazning molyar issiqlik sig'imi, ν - modda miqdori. Mendeleyev- Klapeyron tenglamasidan foydalanib, boshlang'ich holat xarorati T_1 ni aniqlash mumkin

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{\nu R} \quad (4)$$

Izotermik jarayon davomida gazning olgan issiqlik miqdori quyidagiga teng

$$Q_{2,3} = \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5)$$

Bu erda V_2 - xarorati T_2 va bosimi P_1 bo'lgan gazning egallagan hajmi; 2-1 izobarik jarayon davomida Q_2 issiqlik miqdorini beradi

$$Q_2 = Q_{3,1} = C_p \nu (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Bu erda C_p - izobarik jarayonda gazning molyar issiqlik sig'imi Q_1 va Q_2 uchun chiqarilgan ifodalarni (1) formulaga qo'yamiz

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\nu C_p (T_2 - T_1)}{\nu C_p (T_2 - T_1) + \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (7)$$

Chiqarilgan ifodadai hajmlar nisbatini Gey-Lyussak qonuniga binoan xaroratlar nisbati bilan almashtirsak bo'ladi $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$. Molyar issiqlik sig'imlar C_v va C_p ni molekulaning erkinlik darajasi orqali ifodalash mumkin

$$C_v = \frac{i}{2} R; \quad C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (8)$$

U holda bu ifodalarni (7) formulaga qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\eta = 1 - \frac{(i+2)(T_2 - T_1)}{i(T_2 - T_1) + 2T_2 \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (9)$$

Hisoblarni o'tkazib, quyidagini topamiz $\eta = 0,041 = 4,1\%$.

2-masala. Karno ideal sikli bo'yicha ishlayotgan issiqlik mashinasining isitkichi $2 \cdot 10^3$ kall issiqlik olayapti va uning 80% ini sovutkichga berayapti. Mashinaning sikl foydali ish koeffitsiyenti va ishini toping.

Berilgan:

$$Q_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ kall}; \quad Q_2 = 0,8Q_1; \quad \eta = ?; \quad A = ?$$

Masalaning echilishi: Siklning foydali ish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{Q_1 - 0,8Q_1}{Q_1} \cdot 100\% \quad \text{yoki} \quad \eta = (1 - 0,8) \cdot 100\%$$

Hisoblaymiz: $\eta = (1 - 0,8) \cdot 100\% = 20\%$, $A = Q_1 - Q_2 = Q_1 \cdot \eta = 0,2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 400$ kall
yoki $400 \cdot 4,18 = 1670\text{J}$

3-masala. Ichki yonuv dvigatelining foydali ish koeffitsiyenti 28%, yoqilg'i yonish issiqligi 927°C va chiqayotgan gazlar harotati esa 447°C . ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyenti dvigatel foydali ish koeffitsiyentidan necha foizga ko'p?

Berilgan: $T_1 = 1200 \text{ K}; \quad T_2 = 720 \text{ K}; \quad \eta = 28\%; \quad \eta_k = ?; \quad \eta_k - \eta = ?$

Masalaning echilishi: Karno sikli bo'yicha ishlayotgan ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyenti quyidagi formula orqali topiladi:

$$\eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad \text{Hisoblaymiz:} \quad \eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1200 - 720}{1200} \cdot 100\% = 40\% \quad \eta_k -$$

$$\eta = (40 - 28)\% = 12\%$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklga isitgichdan 800 kal issiqlik oladi. Isitgichning harorati 500K, sovutgichning harorati 400K. Mashinaning bir siklda bajarigan ishi va bir siklda sovutgichga bergan issiqlik miqdori topilsin.

2. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Agar bir siklda 300 kGm ga teng ish bajarilganligi va sovutgichga 3,2 kkal issiqlik berilgani ma'lum bo'lsa, siklning f.i.k. aniqlansin.

3. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda $7,35 \cdot 10^4 \text{ J}$ ish bajaradi. Isitgichning harorati 100°C , sovutgichning harorati 0°C . 1) mashinaning f.i.k., 2) mashinaning bir siklda isitgichdan olgan issiqlik miqdori, 3) bir siklda sovutgichda bergan issiqlik miqdori topilsin.

4. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Bunday isitgichdan olindan issiqlikning 80% i sovutgichga berilgan. Isitgichdan olindan issiqlik miqdori 1,5 kkal ga teng. 1) Siklning f.i.k., 2) to'la siklda bajarilgan ish topilsin.

5. Biror 2 atomli gazning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 3,5 kal/g·gradga teng. Bu gaz 1 kilomolining massasi nimaga teng.

6. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitida zichligi $1,43 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, bu gazning c_v va c_p solishtirma issiqlik sig'implari nimaga teng.

7. Agar azot uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbatning 1,47 ga tengligi ma'lum bo'lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

8. 3 kilomol argon va 2 kilomol azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

9. $\nu=2$ mol modda miqdoridagi ikki atomli ideal gaz bosimi $P=500$ kPa va $V=9$ l hajimni egallaydi. Avval gaz izohorik ravishda $T=400^{\circ}$ K gacha qizdirilgan, so'ngra izotermik ravishda kengaytirilib, boshlang'ich bosimgacha keltirilgan. Undan keyin gaz izobarik ravishda siqilib u boshlang'ich holatiga keltiriladi. Siklning FIK aniqlansin.

10. Ichki yonuv dvigatelining foydali ish koeffitsiyenti 38%, yoqilg'i yonish issiqligi 727° C va chiqayotgan gazlar harotati esa 447° C. ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyenti dvigatel foydali ish koeffitsiyentidan necha foizga ko'p?

11. Karno ideal sikli bo'yicha ishlayotgan issiqlik mashinasining isitkichi $2 \cdot 10^3$ kall issiqlik olayapti va uning 80% ini sovutkichga berayapti. Mashinaning sikl foydali ish koeffitsiyenti va ishini toping.

12. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda isitgichdan 600 kal issiqlik oladi. Isitgichning temperaturasi 400 K, Sovitgichning temperaturasi 300 K. Mashinaning bir siklda bajargan ishi va bir siklda sovutgichga berilgan issiqlik miqdori aniqlansin.

13. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Agar bir siklda 300 kJ ga teng ish bajargan bo'lsa, sovutgichga 3.2 kkal issiqlik berilgan bo'lsa siklning foydali ish koeffitsiyenti aniqlansin.

14. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda $73.2 \cdot 10^3$ j ish bajargan. Isitgichning temperaturasi 100° C, sovutgich temperaturasi 0° C. 1) Mashinaning F.I.K. 2) mashinani bir siklda isitgichdan olgan issiqlik miqdori topilsin.

15. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Bunda isitgichdan olingan issiqlikning 80 % I ishlaydi. Isitgichdan olingan issiqlik miqdori 1.5 kkal ga teng. Siklning foydali ish koeffitsiyentini aniqlang.

16. Ideal issiqlik mashinasi boshlang'ich bosimi 7 atm bo'lgan va 127° C temperaturagacha isitilgan havo bilan Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Havoning boshlang'ich hajmi $2 \cdot 10^{-3}$ m³. Birinchi izotermik kengayishdan keyin havoning hajmi 5 l ga, adiabatik kengayishdan keyin hajmi 8 l ga teng bo'lgan. Siklning foydali ish koeffitsiyenti va bajargan ishi aniqlansin.

17. Ideal gazning bir kilomoli ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat yopiq siklni bajaradi. Bunda gazning hajmi $V_1=25$ m³ dan $V_2=50$ m³ gacha va bosimi 1 atmdan 2 atmgacha o'zgaradi. Bunday siklda bajarilgan ish, hajmi izotermik kengaytirilganda ikki marta ortgan va izotermalari qarab chiqilayotgan siklning eng yuqori va eng past temperaturalariga mos kelgan Karno sikli bo'yicha bajarilgan ishdan necha marta kichik?

18. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi, har bir siklda $37 \cdot 10^3$ J ga teng ish bajaradi. Bunda mashina -10° C temperaturali jismdan issiqlik olib, $+17^{\circ}$ C temperaturali jismga issiqlik beradi. Siklning foydali ish koeffitsiyentini aniqlang.

19. Ideal sovitish mashinasi teskari Karno bo'yicha issiqlik nasosidek ishlaydi. Bunda mashina 2° C temperaturali suvdan issiqlik oladi va uni 27° C

temperaturali havoga beradi. Biror vaqt davomida havoga berilgan issiqlik miqdorini shuncha vaqtda suvdan olingan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat η_1 ko'effitsiyent; 2) Biror vaqt oralig'ida suvdan olingan issiqlik miqdorini shuncha vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyaga bo'lgan nisbatidan iborat η_2 ; 3) Biror vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyani shuncha vaqtda havoga berilgan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat η_3 ko'effitsiyent topilsin.

20. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal sovitish mashinasi 0°C temperaturadagi suvli sovutgichdan 100°C temperaturadagi suvli qaynatgichga issiqlik uzatadi. Qaynatgichda 1 kg suvni bug'ga aylantirish uchun sovutgichda qancha miqdor suvni muzlatish kerak?

21. Bino teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan sovitish mashinasi yordamida isitiladi. Xonaning ma'lum miqdor o'tin yoqilgan pechkadan olgan issiqlik miqdorini, o'sha o'tinni iste'mol qiluvchi issiqlik mashinasi bilan ishlaydigan sovitish mashinasining xonaga bergan issiqlik miqdori bilan solishtiring. Bu issiqlik dvigateli 100°C va 0°C temperaturalar oralig'ida ishlaydi. Xonaning temperaturasi doimo 16°C bo'lishi talab qilinadi. Atrofdagi havoning temperaturasi -10°C .

22. Quvvati 14.7 kW bo'lgan bug' mashina 1 soat ishlaganda issiqlik berish qobiliyati $3.3 \cdot 10^7$ bo'lgan ko'mirdan 8.1 kg sarf qiladi. Qozonning temperaturasi 200°C , sovutgichning temperaturasi 58°C . Mashinaning haqiqiy F.I.K. topilsin.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Aylanma jarayonlar (sikllar) qanday (PV)- holatlar diagrammasida tasvirlanadi? Issiqlik mashinalarida aylanma jarayonlar qaysi yo'nalishda o'tadi? Sovutgich mashinasi-chi?

2. Gazning bir sikl davomida bajargan ishini qanday aniqlaymiz? Aylanma jarayon natijasida ichki energiyaning to'liq o'zgarishi nimaga teng?

3. Karno sikli qanday jarayonlardan tashkil topgan? Uni PV-diagrammada tasvirlang. Qaysi jarayonlarda gaz issiqlikni oladi va beradi? Issiqlik mashinasining foydali ish ko'rsatuvchisi (FIK) nima? Karno siklining FIK qanday aniqlanadi?

4. Termodinamikaning ikkinchi qonuni mohiyati nimada?

5. Termodinamik tizimning entropiyasi nimani ko'rsatadi? U termodinamik ehtimollik bilan qanday bog'langan?

6. Quvvati 20 o.k. ga teng bo'lgan bug' mashinasi porshenning yuzi 200 cm^2 , porshen yo'li esa 45 sm. Porshen o'z yo'lining uchdan bir qismiga surilganda ibobarik jarayon bo'ladi. F.I.K. ni toping.

7. Karburyatorli ichki yonuv dvigatelining silindirida gaz politropik ravishda hajmi 6 marta kamayadi. Siqish ko'effitsiyenti 6 ga teng. Silindrdagi boshlang'ich bosim $9 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ boshlang'ich temperatura 127°C deb hisoblab, siqilishdan keyingi silindrdagi bosim va temperatura topilsin. Politrop ko'rsatkichi 1.33 ga teng.

8. Karburyatorli ichki yonuv dvigateli slindirining diametri 10 sm, porshen yo'li 11 sm. 1) Gazning boshlang'ich bosimi 1 atm, boshlang'ich temperaturasi 127°C va siqilishdan keyingi bosimi 10 atm bo'lganligi ma'lum bo'lsa, siqish kamerasi qanday hajmga ega?

9. Karburyatorli ichki yonuv dvigatelining politrop ko'rsatkishi 1.33 ga siqish darajasi 4 marta kamaygan bo'lsa F.I.K. topilsin.

10. Karburyatorli ichki yonuv dvigatelining politrop ko'rsatkishi 1.33 ga siqish darajasi 6 marta kamaygan bo'lsa F.I.K. topilsin.

9.4. Mavzu: Gazlarda ko'chish hodisasi mavzusiga doir masalalar yechish

Termodinamik muvozanatda bo'lmagan tizimlarda ko'chish hodisalari deb ataladigan, alohida qaytmas jarayonlar sodir bo'ladi va bu jarayonlarda energiya, massa va impulslarning fazoviy ko'chishi kuzatiladi.

Ko'chish hodisalariga *issiqlik o'tkazuvchanligi* (energiyani ko'chishi), *diffuziya* (massa ko'chishi) va *ichki ishqalanish* hodisalari (impulsni ko'chishi) kiradi.

Molekula ikkita ketma-ket to'qnashishlar oraligida ma'lum λ yo'lni bosib o'tadi va bu *erkin yugurish yo'li* deb ataladi

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n}$$

$$D = \frac{1}{3} v \lambda \quad \text{kattalik diffuziya koeffitsientini deb ataladi.}$$

$$j = -D \frac{dc}{dx}$$

1-masala. Normal sharoitda vodorodning diffuziya koeffitsiyentini toping. Vodorod molekulasining o'rtacha erkin yugurish yo'li $1,6 \cdot 10^{-7}$ m.

Berilgan:

$$R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}, \quad T=273 \text{ K}; \quad \mu=2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}; \quad \lambda=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \quad D=?$$

Masalaning echilishi: Diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini

$$\text{yozamiz: } D = \frac{1}{3} v \lambda. \text{ Bu erda, } v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}. \text{ U holda, } D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda \text{ ga teng.}$$

$$\text{Hisoblaymiz: } D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 273}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-7} = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

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

Berilgan:

$$D=0,142 \text{ sm}^2/\text{s}; \quad P=10^5 \text{ Pa}; \quad T=273 \text{ K}; \quad R=8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}; \quad \mu=28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}; \quad \eta=?$$

Masalaning echilishi: Ichki ishqalanish koeffitsiyentini topish formulasini

yozamiz: $\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho$ va $D = \frac{1}{3} v \lambda$ ekanligini e'tiborga olsak, $\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho = D \rho$ 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

$$\text{qo'ysak, } \eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho = D \rho = \frac{DP\mu}{RT} \text{ Hisoblaymiz: } \eta = \frac{DP\mu}{RT} = \frac{1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 10^5 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273} = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^2 / \text{s}$$

3-masala. Normal sharoitda vodorodning diffuziya koeffitsiyentini toping. Vodorod molekulasi o'rtacha erkin yugurish yo'li $1,6 \cdot 10^{-7}$ m.

Berilgan:

$R=8,31$ J/mol·K, $T=273$ K; $\mu=2 \cdot 10^{-3}$ kg/mol; $\lambda=1,6 \cdot 10^{-7}$ m; $D=?$

Masalani echilishi: Diffuziya koeffitsiyentini topish formulasini yozamiz: $D = \frac{1}{3} v \lambda$. Bu erda, $v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$. U holda, $D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda$ ga teng.

$$\text{Hisoblaymiz: } D = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot \lambda = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 273}{2 \cdot 10^{-3}}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-7} = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Idishda karbonat angidrid (CO_2) bor. Uning zichligi $\rho=1,7$ kg/m³ va molekularning erkin yugurish yo'li uzunligi $\lambda=0,79 \cdot 10^{-5}$ sm. Karbonat angidrid molekulasi diametri topilsin.

2. $P_1=10^3$ Pa bosimda molekula 1 s da o'rtacha $z_1=3 \cdot 10^9$ marta to'qnashadi. $P_2=0,133$ Pa bosimda u necha marta to'qnashishi mumkin? $T=\text{const}$.

3. Bir xil bosim va haroratda ikki turdagi gazlar mavjud. Agar gaz atomlarining diametrlari 1:4 va massalari 1:5 mos nisbatda bo'lsa, shu gaz atomlari uchun vaqt birligidan to'qnashuvlar soni necha martaga farqlanishini aniqlang.

4. Yerning suniy yo'ldoshida o'rnatilgan ionizatsion monometr yordamida Yer sirtidan $h=300$ km balandlikda atmosferaning $V=1$ sm³ hajmida gaz molekularining soni $n=10^9$ ta ga yaqin ekanligi aniqlandi. Shu balandlikda molekularning erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi λ topilsin. Molekularning effektiv diametri $d=0,2$ nm.

5. $T=0^\circ\text{C}$ zaroratda va biror bir bosimda kislorod molekulasi erkin yugurish yo'li o'rtacha uzunligi $\lambda=95$ nm ga teng. Agar idishdagi hovoni boshlang'ich bosimning 0,01 gacha so'rib olsak, 1 s dagi kislorod molekularining o'rtacha to'qnashuvlar soni nimaga teng? $T=\text{const}$.

6. $D=15$ sm diametrli sferik idishda molekular bir biri bilan to'qnashmasligi uchun $V=1$ sm³ hajmida eng ko'pi bilan nechta molekula bo'lishi kerak? Gaz molekulasi effektiv diametrini $d=0,3$ nm deb qabul qiling.

7. Biror bir gaz molekularining 2 s da, agar shu sharoitda molekulaning erkin yugurish yo'li o'rtacha uzunligi $\lambda=0,55$ mm ga va o'rtacha kvadratik tezligi $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 500$ m/s ga teng bo'lsa, o'rtacha to'qnashuvlar soni z topilsin.

8. $P_1=2 \cdot 10^3$ Pa bosimda molekula 1 s da o'rtacha $z_1=4 \cdot 10^9$ marta to'qnashadi. $P_2=0,133$ Pa bosimda u necha marta to'qnashishi mumkin? $T=\text{const}$.

9. Bir xil bosim va xaroratda ikki turdagi gazlar mavjud. Agar gaz atomlarining diametrlari 1:5 va massalari 1:8 mos nisbatda bo'lsa, shu gaz atomlari uchun vaqt birligidan to'qnashuvlar soni necha martaga farqlanishini aniqlang.

10. $T=0^\circ\text{C}$ zaroratda va biror bir bosimda kislorod molekulasi erkin yugurish yo'li o'rtacha uzunligi $\lambda=95$ nm ga teng. Agar idishdagi hovoni boshlang'ich bosimning 0,01 gacha so'rib olsak, 1 s dagi kislorod molekularining o'rtacha to'qnashuvlar soni nimaga teng? $T=\text{const}$.

11. $D=15$ sm diametrli sferik idishda molekulalar bir biri bilan to‘qnashmasligi uchun $V=1$ sm³ hajimda eng ko‘pi bilan nechta molekula bo‘lishi kerak? Gaz molekulasiining effektiv diametrini $d=0,3$ nm deb qabul qiling.

12. $D=25$ sm diametrli sferik idishda molekulalar bir biri bilan to‘qnashmasligi uchun $V=0.5$ sm³ hajimda eng ko‘pi bilan nechta molekula bo‘lishi kerak? Gaz molekulasiining effektiv diametrini $d=0,4$ nm deb qabul qiling.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. $P_1=4 \cdot 10^3$ Pa bosimda molekula 2 s da o‘rtacha $z_1=3 \cdot 10^9$ marta to‘qnashadi. $P_2=0,133$ Pa bosimda u necha marta to‘qnashishi mumkin? $T=\text{const}$.

2. Bir xil bosim va xaroratda ikki turdagi gazlar mavjud. Agar gaz atomlarining diametrlari 1:2 va massalari 1:3 mos nisbatda bo‘lsa, shu gaz atomlari uchun vaqt birligidan to‘qnashuvlar soni necha martaga farqlanishini aniqlang.

3. Yerning suniy yo‘ldoshida o‘rnatilgan ionizatsion monometr yordamida Yer sirtidan $h=100$ km balandlikda atmosferaning $V=2$ sm³ hajmida gaz molekulalarining soni $n=10^9$ ta ga yaqin ekanligi aniqlandi. Shu balandlikda molekulalarning erkin yugurish yo‘lining o‘rtacha uzunligi λ topilsin. Molekulalarning effektiv diametri $d=0,4$ nm.

4. $T=0^\circ\text{C}$ zaroratda va biror bir bosimda kislorod molekulasiining erkin yugurish yo‘li o‘rtacha uzunligi $\lambda=75$ nm ga teng. Agar idishdagi hovoni boshlang‘ich bosimning 0,02 gacha so‘rib olsak, 1 s dagi kislorod molekulalarining o‘rtacha to‘qnashuvlar soni nimaga teng? $T=\text{const}$.

5. $D=35$ sm diametrli sferik idishda molekulalar bir biri bilan to‘qnashmasligi uchun $V=1$ sm³ hajimda eng ko‘pi bilan nechta molekula bo‘lishi kerak? Gaz molekulasiining effektiv diametrini $d=0,4$ nm deb qabul qiling.

9.5. Mavzu: Gazlarda ichki ishqalanish mavzusiga doir masalalar yechish.

Gaz qatlamlari bir-biriga nisbatan turli tezlik bilan harakatlanganda qatlamdan-qatlamga ma‘lum miqdorda gaz molekulalari o‘tadi. Bunda tezligi katta qatlamdan tezligi kichik qatlamga gaz molekulalari impuls olib o‘tadi. Bu vaqtda tezligi kichik qatlamning harakati tezlashadi va aksincha tezligi katta qatlam sekinlashadi. Natijada qatlamlar tezligi bir- biriga yaqinlashish jarayoni ro‘y beradi. Bunga **ichki ishqalanish** deyiladi.

Suyuqlik yoki gazlardagi ichki ishqalanish kuchi suyuqlik mexanikasidan ma‘lum bo‘lgan Nyuton formulasi orqali ifodalaniladi:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S$$

$\frac{dv}{dx}$ - tezlik gradienti, η – yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish koeffitsienti bo‘lib, u tezlik gradienti birga teng bo‘lganda birlik yuzga ta’sir etuvchi ichki ishqalanish kuchiga son jihatdan teng bo‘lgan kattalikdir. Uning birligi Pa·s (Puaz.s).

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Agar normal sharoitda azotning diffuziya koeffitsiyenti 0.142 sm²/sek ga teng bo‘lsa, shunday sharoitda azotning ichki ishqalanish koeffitsiyentini toping.

2. Agar 0°C temperaturada kislorodning ichki ishqalanish koeffitsiyenti $18.8 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{sek}/\text{m}^2$ ga teng bo'lsa, kislorod molekulasining diametri topilsin.

3. Azot ichki ishqalanish koeffitsiyentining temperaturaga bog'lanish grafigi $100^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$ intervalda 100°C dan oralatib chizilsin.

4. 10°C temperatura va 760 mm.sim.ust. Bosimda havoning diffuziya va ichki ishqalanish koeffitsiyentlari topilsin. Havo molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ga teng.

5. Kislorodning ichki ishqalanish koeffitsiyenti azotning ichki ishqalanish koeffitsiyentidan necha marta katta? Gazlarning temperaturalari bir xil.

6. Ma'lum bir sharoitda vodorodning diffuziya va ichki ishqalanish koeffitsiyentlari mos ravishda $1.42 \text{ sm}^2/\text{sek}$ ga teng. Shunday sharoitda 1 m^3 hajmdagi vodorod molekulalarining soni topilsin.

7. Kislorodning diffuziya va ichki ishqalanish koeffitsiyentlari mos ravishda $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sek}$ ga $\eta = 1.95 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{sek}$ ga teng. Shunday sharoitda kislorodning zichligi topilsin.

8. 0.3 mm diametrli yomg'ir tomchisi qanday eng katta tezlikka erisha oladi? Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ga teng deb hisoblansin. Yomg'ir tomchisi uchun stoks qonuni o'rinli deb olinsin.

9. Samolyot 360km/soat tezlik bilan uchmoqda . Yopishqoqlik tufayli samolyot qanoti sirtidan 4 sm naridagi havo qatlami samolyotga ergashmaydi deb hisoblab, qanot sirtining har bir kvadrat metriga ta'sir qiluvchi urinma kuch topilsin. Havo molekulalarining diametrini $3 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ ga, havoning temperaturasini 0°C ga teng deb olinsin.

10. Ikkita koaksial silindrning oralig'idagi fazo gaz bilan to'ldirilgan. Silindrlarning radiuslari mos ravishda $r=5 \text{ sm}$ va $R=5.2 \text{ sm}$ ga teng. Ichki silindrning balandligi esa $h=25 \text{ sm}$ ga teng. Tashqi silindr $v=360 \text{ ayl}/\text{sek}$ chastotaga mos tezlik bilan aylanadi. Ichki silindrning harakatsiz qolishligi uchun unga urinma ravishda $F=1.38 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ kuch qo'yilishi kerak. Birinchi yaqinlashishda bu holni yassi plastinkalar kabi qarab, tajribada berilganlarga asosan silindrlar orasidagi gazning yopishqoqlik koeffitsiyenti topilsin.

11. Vodorodning ichki ishqalanish koeffitsiyentini $8.6 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{sek}/\text{m}^2$ tengligi ma'lum bo'lsa, shunday sharoitda uning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin.

12. 10°C temperaturada va $10^{-5} \text{ N}/\text{m}^2$ bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ ga teng deb olinsin.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 20°C temperatura va 760 mm.sim.ust. Bosimda havoning diffuziya va ichki ishqalanish koeffitsiyentlari topilsin. Havo molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ga teng.

2. Vodorodning ichki ishqalanish koeffitsiyenti azotning ichki ishqalanish koeffitsiyentidan necha marta katta? Gazlarning temperaturalari bir xil.

3. Ma'lum bir sharoitda vodorodning diffuziya va ichki ishqalanish koeffitsiyentlari mos ravishda $1.42 \text{ sm}^2/\text{sek}$ ga teng. Shunday sharoitda 1.5 m^3 hajmdagi vodorod molekulalarining soni topilsin.

4. 0.5 mm diametrli yomg'ir tomchisi qanday eng katta tezlikka erisha oladi? Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-10}$ m ga teng deb hisoblansin. Yomg'ir tomchisi uchun stoks qonuni o'rinli deb olinsin.

5. 10^0C temperaturada va 10^{-5} N/m² bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng deb olinsin.

9.6. Mavzu: Gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlik mavzusiga doir masalalar yechish

Muhitda molekulalarning tartibsiz harakati natijasida temperatura tenglasha boradi. Muhitda energiyaning issiqlik ko'inishda ko'chishi Fure qonuniga bo'ysunadi:

bu erda birlik vaqtda, birlik yuzadan issiqlik ko'inishida ko'chadigan, energiya bilan aniqlanadigan issiqlik oqimining zichligidir, (χ – issiqlik o'tkazuvchanligi, yuza normal yo'nalishida birlik dx uzunlikka to'g'ri kelgan temperatura o'zgarishiga teng bo'lgan temperatura gradiyentidir. Minus ishora issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonida, temperatura past bo'lgan yo'nalishda energiya ko'chishini ko'rsatadi. Issiqlik o'tkazuvchanligi (temperatura gradiyenti birga teng bo'lganda issiqlik oqimi zichligiga teng bo'lgan kattaligidir:

bu erda C_v – xajm o'zgarmas bo'lganda, gazning solishtirma issiqlik sig'imini ifodalaydi (ya'ni, hajm o'zgarmaganda 1 kg gazni 1 K ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoridir), v – molekulalar issiqlik harakatining o'rtacha tezligi, o'rtacha erkin yugurish yo'li. Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\chi = \frac{1}{3} n m v C_v$

ga teng, agar $l = \frac{3\lambda}{nmv}$ qiymatni qo'ysak quyidagini hosil qilamiz: $\chi = C_v \eta$

$$D = \frac{\chi}{C_v \rho}$$

$$\frac{dT}{dt} = a^2 \frac{d^2T}{dx^2}$$

$$\chi = \alpha \cdot C_v \eta$$

$$dQ = \frac{1}{3} v \lambda C_v \rho \frac{dT}{dx} dS dt$$

$$dM = \frac{1}{3} m v \lambda \frac{dn}{dx} dS dt$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. 10^0C temperaturada va 10^{-5} N/m² bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng deb olinsin.

2. Vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'lanish grafi 100 da 600^0C intervalda 100 dan oralatib chizilsin.

3. 2 l hajmli idishda ikki atomli gazning $N=4 \cdot 10^{22}$ ta molekulasi bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $K=0.014 \text{ Vt/m} \cdot \text{grad}$ ga teng. Shunday sharoitda gazning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

4. Bir xil temperatura va bosimda karbonat angidrit gazi va azot berilgan. Bu gazlar uchun: 1) Diffuziya 2) ichki ishqalanish koeffitsiyentlari nisbatlari topilsin.

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

6. Tashqi radiusi 10 sm, ichki radiusi 9 sm va balandligi 20 sm bo'lgan slindr termos muz bilan to'ldirilgan. Muzning temperaturasi 0°C , tashqi havoning temperaturasi 20°C . Termosning ikki devori orasidagi havoning bosimi eng ko'pi bilan qanday bo'lganda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bosimga bog'liq bo'lib qolaveradi. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng, termos orasidagi havoning temperaturasini esa muz va tashqi muhit temperaturasining o'rtacha arifmetik qiymatiga teng deb hisoblansin.

7. Deraza romlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli deraza orqali har soatda qancha issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli deraza orqali har soatda qancha issiqlik miqdori sarf bo'ladi. Har bitta romning yuzi 4 m^2 ga, romlarning oraliq'li esa 30sm ga teng. Binodagi temperatura 18°C .

8. Havo molekularining diametri $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng. Romlar orasidagi havoning temperaturasni binodagi va tashqi muhitdagi temperaturalarning o'rtacha arifmetik qiymatiga teng deb olinsin. Bosim 760 mm.sim.ust. Ga teng

9. Bir-biridan 1 mm oraliqda bo'lgan ikkita plastinkalar orasida havo bor. Plastinkalar orasida $\Delta T=1^{\circ}$ temperaturalar farqi doimiy saqlanadi. Har bitta plastinkaning yuzi 100 cm^2 ga teng. Issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli bir plastinkadan ikkinchisiga 10 min davomida qancha issiqlik miqdori o'tadi. Havo normal sharoit deb hisoblansin. Havo molekularining diametri $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng.

10. 20°C temperaturada va 10^5 N/m^2 bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng deb olinsin.

11. Vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'lanish grafigi 200° da 600°C intervalda 100 dan oralatib chizilsin.

12. 3 l hajmli idishda ikki atomli gazning $N=6 \cdot 10^{22}$ ta molekulasi bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $K=0.014 \text{ Vt/m} \cdot \text{grad}$ ga teng. Shunday sharoitda gazning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

Mustaqil yechiladigan masalalar.

1. 15°C temperaturada va 10^{-5} N/m^2 bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng deb olinsin.

2. Vodorod issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'lanish grafigi 300 da 600°C intervalda 100 dan oralatib chizilsin.

3. 0.5 l hajmli idishda ikki atomli gazning $N=2 \cdot 10^{22}$ ta molekulasi bor. Gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $K=0.014 \text{ Vt/m} \cdot \text{grad}$ ga teng. Shunday sharoitda gazning diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

4. Bir xil temperatura va bosimda kislorod va vodorod gazi berilgan. Bu gazlar uchun: 1) Diffuziya 2) ichki ishqalanish koeffitsiyentlari nisbatlari topilsin.

5. Dyuar idishning devorlari orasidagi masofa 8 mm ga teng. Havosi so'rib olinayotganda, qanday bosimdan boshlab Dyuar idishining devorlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti kamayib boradi. Havoning temperaturasi 13°C ga, havoning molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-7}$ mm ga teng deb olinsin.

X BOB. REAL GAZLAR VA ULARNING XOSSALARIGA DOIR MASALALAR YECHISH.

10.1. Mavzu: Real gazlar mavzusiga doir masalalar yechish

Real gazlar holat tenglamasi (Van-der-Vaals tenglamasi) bir kilomol uchun quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\left(p + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT_1,$$

bunda V_0 – bir kilomol gazning hajmi, a va b - har xil gazlar uchun turlicha bo‘lgan o‘zgaruvchan kattaliklar, p – bosim, T – absolyut harorat va R – gaz doimiysi.

Gazning ixtiyoriy M massasi uchun Van-der-Vaals tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

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

bunda V – gazning umumiy hajmi, μ – bir kilomol gazning massasi.

Bu tenglamadagi $\frac{M^2 a}{\mu^2 V^2} = p_i$ - bosim, molekulalarning o‘zaro ta’sir kuchiga bog‘liqdir va $\frac{M}{\mu}b = V_i$ - hajm esa molekulalarning xususiy hajmiga bog‘liqdir.

Berilgan gazga tegishli a va b doimiylar shu gazning T_k – kritik harorati, p_k – kritik bosimi va V_{ok} – kritik hajmi bilan quyidagicha bog‘langan:

$$V_{ok} = 3b, \quad p_k = \frac{a}{27b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27bR}$$

Bu tenglamalarni a va b doimiylarga nisbatan yechish mumkin:

$$a = \frac{27T_k^2}{64p_k}, \quad b = \frac{T_k R}{8p_k}.$$

Agar keltirilgan kattaliklarni kiritsak: $\tau = \frac{T}{T_k}$, $\pi = \frac{p}{p_k}$, $\omega = \frac{V_0}{V_{ok}}$

Bu vaqtda Van-der-Vaals tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi (bir kilomol uchun): $\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau$.

1-Masala. 2 atm bosim ostida 820 sm³ 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 echilishi: 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. $T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 8,2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 280K$

$$T = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \left(2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 + \frac{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}{(28 \cdot 10^{-3})^2 (8,2 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left(8,2 \cdot 10^{-4} - \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,85 \cdot 10^2}{28 \cdot 10^{-3}} \right) = 280K$$

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 echilishi:

Yuqoridagi masalaga asosan, kislorodning haroratini ideal va real gazlar uchun hisoblaymiz: $T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 281K$

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

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:

$P=10^8 \text{ Pa}; V=100 \text{ sm}^3=1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$M=10 \text{ g}=1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}; \mu=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol};$

$a=3,43 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^4/\text{kmol}^2; b=2,34 \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{kmol}; T_{\text{ideal}}=?; T_{\text{real}}=?$

Masalaning echilishi:

Yuqoridagi masalaga asosan, kislorodning haroratini ideal va real gazlar uchun hisoblaymiz: 1. $T = \frac{\mu PV}{mR} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 8,31} = 482K$;

$$2. T = \frac{\mu}{MR} \left(P + \frac{aM^2}{\mu^2 V^2} \right) \left(V - \frac{M}{\mu} b \right) = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-2}} \left(1 \cdot 10^8 + \frac{3,43 \cdot 10^{-7} \cdot (1 \cdot 10^{-2})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2 (1 \cdot 10^{-4})^2} \right) \left(1 \cdot 10^{-4} - \frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 2,34 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^{-3}} \right) = 204K$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Van-der-Vaals tenglamasidagi a va b doimiylarning SI sistemasidagi o'lchov birliklari topilsin.

2. Ba'zi bir gazlar uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ning qiymatlarini bilgan holda (5-jadvalga qarang), shu gaz uchun Van-der-Vaals tenglamasidagi a va b doimiylar topilsin.

3. 2 atm bosimda 820 sm^3 hajmdagi 2 g azotning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

4. 28 atm bosimda 90 sm^3 hajmdagi 3,5 g kislorodning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

5. 10^8 N/m^2 bosimda 10 g geliy 100 sm^3 hajmni egallaydi. Gazni: 1) ideal va 2) real deb hisoblab, uning harorati topilsin.

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

7. $t=27^\circ\text{C}$ haroratda va $p = 10^7 \text{ N/m}^2$ bosimda 1 kmol kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.

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

9. Kislorod uchun kritik kattaliklar T_K va p_K ni ma'lum deb, kislorod molekulasining effektiv diametri topilsin.

10. Azot molekulasining 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.

11. Normal sharoitda karbonat anhidrid gazi molekulasining o'rtacha Erkin yugurish yo'lining uzunligi topilsin. Karbonat anhidrid gazi uchun T_k kritik harorat va p_k kritik bosim ma'lum deb, uning molekulasining effektiv diametri hisoblansin.

12. $t=17^\circ\text{C}$ haroratda va $p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimdagi geliy gazining diffuziya koeffitsiyenti topilsin. Geliy gazi uchun T_k va p_k ma'lum deb, atomning effektiv diametri hisoblansin.

13. Karbonat anhidrig gazini: 1) ideal va 2) real hisoblab, uning bir kilomoli uchun 0°C haroratda $p = f(V)$ izotermalari chizilsin. m^3/kmol larda ifodalangan V hajmni real gaz uchun quyidagi qiymatlarda oling: 0,07; 0,08; 0,10; 0,12; 0,16; 0,18; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 va 0,40; ideal gaz uchun esa $0,2 \leq V \leq 0,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$ intervalda olinsin.

14. Ba'zi bir gazning 0,5 kmoli $V_1 = 1 \text{ m}^3$ hajmni egallaydi. Gaz $V_2 = 1,2 \text{ m}^3$ hajmgacha kengayganda, molekularining o'zaro ta'sir kuchiga qarshi $A = 580 \text{ kGm}$ ga teng ish bajarilgan. Bu gaz uchun Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiy topilsin.

15. 20 kg azot bo'shliqda $V_1 = 1 \text{ m}^3$ hajmdan $V_2 = 2 \text{ m}^3$ hajmgacha adiabatik kengayadi. Azotning Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiyni malum deb hisoblab (6.2-masalaning javobiga qarang), gazning bunday kengayishidagi haroratning pasayishi topilsin.

16. 0,5 kmol uch atomli gaz bo'shliqda $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$ hajmdan $V_2 = 3 \text{ m}^3$ hajmgacha adiabatik kengayadi. Bunda gazning harorati $12,2^\circ$ ga pasaysa, Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiylik topilsin.

17. 1) a) 31°C va b) 50°C haroratda karbonat anhidrid gazini suyuq karbonat kislotaga aylantirish uchun, unga qanday bosim berish kerak? 2) 1 kg suyuq

karbonat kislota eng ko‘pi bilan qanday hajmni egallaydi? 3) Suyuq karbonat kislota to‘yingan bug‘ining eng katta elastikligi qanday?

18. Suvning Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiyni ma‘lum deb hisoblab (6.21-masalalarning javobiga qarang), kritik holatdagi suv bug‘ining zichligi topilsin.

19. Geliy uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ning qiymatlarini ma‘lum deb hisoblab, kritik holatdagi geliyning zichligi topilsin.

20. 920 atm bosimda 1 kmol kislorod $0,056 m^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning harorati topilsin.

21. $t = -200^\circ\text{C}$ haroratda 1 kmol geliy $V = 0,237 m^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning bosimi topilsin.

22. Ba‘zi bir gazning 0,5 kmoli $V_1 = 1 m^3$ hajmni egallaydi. Gaz $V_2 = 1,2 m^3$ hajmgacha kengayganda, molekularining o‘zaro ta’sir kuchiga qarshi $A = 580 \text{ kGm}$ ga teng ish bajarilgan. Bu gaz uchun Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiy topilsin.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 20 kg azot bo‘shliqda $V_1 = 1 m^3$ hajmdan $V_2 = 2m^3$ hajmgacha adiabatik kengayadi. Azotning Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiyni ma‘lum deb hisoblab, gazning bunday kengayishidagi haroratning pasayishi topilsin.

2. 0,5 kmol uch atomli gaz bo‘shliqda $V_1 = 0,5 m^3$ hajmdan $V_2 = 3 m^3$ hajmgacha adiabatik kengayadi. Bunda gazning harorati $12,2^\circ$ ga pasaysa, Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiylik topilsin.

3. 1) a) 31°C va b) 50°C haroratda karbonat angidrid gazini suyuq karbonat kislotaga aylantirish uchun, unga qanday bosim berish kerak? 2) 1 kg suyuq karbonat kislota eng ko‘pi bilan qanday hajmni egallaydi? 3) Suyuq karbonat kislota to‘yingan bug‘ining eng katta elastikligi qanday?

4. Suvning Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiyni ma‘lum deb hisoblab, kritik holatdagi suv bug‘ining zichligi topilsin.

5. Geliy uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ning qiymatlarini ma‘lum deb hisoblab, kritik holatdagi geliyning zichligi topilsin.

6. 920 atm bosimda 1 kmol kislorod $0,056 m^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning harorati topilsin.

7. $t = -200^\circ\text{C}$ haroratda 1 kmol geliy $V = 0,237 m^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning bosimi topilsin.

8. Agar gazning hajmi va harorati bu kattaliklarning kritik qiymatidan ikki marta kattaligi ma‘lum bo‘lsa, gazning bosimi kritik bosimdan necha marta kattaligi topilsin.

9. $t = -100^\circ\text{C}$ haroratda 1 kmol geliy $V = 0,357 m^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning bosimi topilsin.

10. 10 kg azot bo‘shliqda $V_1 = 1,5 m^3$ hajmdan $V_2 = 2,5 m^3$ hajmgacha adiabatik kengayadi. Azotning Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiyni ma‘lum deb hisoblab, gazning bunday kengayishidagi haroratning pasayishi topilsin.

10.2. Mavzu: Real gazlar ichki energiyasi mavzusiga doir masalalar yechish.

Real gazlarning ichki energiyasi quyidagicha:

$$U = U_{\text{ideal}} + U_{\text{potensial}}$$

$$U_{\text{ideal}} = \frac{i}{2} \nu RT$$

$U_{\text{potensial}}$ - molekullararo o'zaro ta'sir natijasida yuzaga keluvchi energiya Van-Der-Vaals tenglamasiga binoan ichki energiya quyidagicha bo'ladi

$$U = \frac{i}{2} \nu RT - \frac{a\nu^2}{V}$$

a - molekullararo o'zaro tortishish koeffitsiyenti

$\frac{\nu^2}{V}$ - molekullararo ta'sir kuchlarining kuchayish darajasi

Real gazda hajm kamaygani sari molekullar bir-biriga yaqinlashadi va potensial energiya ortadi

1-masala: 1 mol kislorod gazini izotermik ravishda 5 l hajmdan 2 l hajmgacha siqilgan. Siqilish jarayonida ichki energiyaning o'zgarishini toping. Temperatura 300 K.

Berilgan:

$$a = 0.136 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}^2$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu RT - \frac{a\nu^2}{V_2 - V_1}$$

$$b = 3.16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$\nu = 1 \text{ mol}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8.31 \cdot 300 - \frac{0.136 \cdot 1}{3 \cdot 10^{-3}} = 3739.5 -$$

$$V_1 = 5 \text{ l}$$

$$45.33 = 3694.17 \text{ J} = 3.7 \text{ kJ}$$

$$V_2 = 2 \text{ l}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$\Delta U = ?$$

2-masala: 2 mol kislorod gazini izotermik ravishda 4 l hajmdan 1 l hajmgacha siqilgan. Siqilish jarayonida ichki energiyaning o'zgarishini toping. Temperatura 200 K.

Berilgan:

$$a = 0.136 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}^2$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu RT - \frac{a\nu^2}{V_2 - V_1}$$

$$b = 3.16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$\nu = 2 \text{ mol}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8.31 \cdot 200 - \frac{0.136 \cdot 4}{3 \cdot 10^{-3}} = 4986 -$$

$$V_1 = 4 \text{ l}$$

$$181.3 = 4804.6 \text{ J} = 4.8 \text{ kJ}$$

$$V_2 = 1 \text{ l}$$

$$T = 200 \text{ K}$$

$$\Delta U = ?$$

3-masala: 3 mol vodorod gazini izotermik ravishda 6 l hajmdan 2 l hajmgacha siqilgan. Siqilish jarayonida ichki energiyaning o'zgarishini toping. Temperatura 100 K.

Berilgan:

$$a = 0.0244 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}^2$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu RT - \frac{a\nu^2}{V_2 - V_1}$$

$$b = 2.63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$v=3\text{mol}$$

$$V_1=6\text{ l}$$

$$V_2=2\text{ l}$$

$$T=100\text{ K}$$

$$\Delta U=?$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 8.31 \cdot 100 - \frac{0.0244 \cdot 9}{4 \cdot 10^{-3}} = 3739.5 -$$

$$54.9 = 3684.6\text{ J} = 3.6\text{ kJ}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Van-der-Vaals tenglamasidagi a va b doimiylarning SI sistemasidagi o'lchov birliklari topilsin.

2. Ba'zi bir gazlar uchun kritik kattaliklar temperatura va bosimning qiymatlarini bilgan holda shu gaz uchun a va b doimiylar topilsin.

3. 2 atm bosimda 820 sm³ hajmdagi 2 g azotning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni real deb hisoblang.

4. 28 atm bosimda 90 sm³ hajmdagi 3.5 g kislorodning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni ideal va real deb hisoblang.

5. 10⁸ N/m² bosimda 10 g geliy 100 sm³ hajmni egallaydi. Gazni real deb hisoblab uning temperaturasi topilsin.

6. 100⁰C temperaturada 1 kmol karbonat angidrid gazi bor. Gazni ideal va real deb hisoblab bosim topilsin. 1) 1 m³ va 2) 0.05 m³ hajmlar uchun echilsin.

7. 0.5 m³ hajmli yopiq idishda 3 · 10⁶ N/m² bosimda 0.6 kmol karbonat angidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun temperaturani necha marta orttirish kerakligi topilsin.

8. 27⁰C temperaturada va 10⁷ N/m² bosimda 1kmol kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.

9. 27⁰C va 5 · 10⁶ N/m² bosimda 1 kmol azot bor. Berilgan sharoitda azotni real gaz deb hisoblab ganing hajmi topilsin.

10. Kislorod uchun kritik kattaliklar temperatura va bosim ni ma'lum deb, kislorod molekulasining effektiv diametri topilsin.

11. Azot molekulasining effektiv diametrini Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiysining berilgan qiymatidan topilsin.

12. Normal sharoitda karbonat angidrid gazi molekulasining o'rtacha erkin yugurish yo'lining uzunligi topilsin.

13. 17⁰C temperaturada va 1.5 · 10⁵ N/m² bosimda geliy gazining diffuziya koeffitsiyenti topilsin.

14. Karbonat angidrid gazini real deb hisoblab, uning bir kilomoli uchun 0⁰C temperaturada P=f(V) izotermalari chizilsin. m³/kmol larda ifodalangan V hajmni real gaz uchun quyidagi qiymatlarda oling: 0.07, 0.08, 0.10, 0.012, 0.14, 0.16, 0.018, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 va 0.40 ideal gaz uchun 0.2 < V < 0.4 m³/kmol intervalda olinsin.

15. Normal sharoitda bir kilomol gaz molekularining o'zaro ta'sir kuchidan hosil bo'lgan bosim topilsin. Bu gaz uchun kritik temperatura 417⁰C va bosim 76 atm ga teng.

16. 10 l hajmli idishda 27⁰C temperaturada 0.25 kg azot bor. Molekulalarning o'zaro ta'siridan hosil bo'lgan bosim gaz bosimining qancha qismini tashkil qiladi.

17. Ba'zi bir gazning 0.5 kmoli 1 m³ hajmni egallaydi. Gaz 1.2 m³ hajmgacha kengayganda, molekullarning o'zaro ta'sir kuchiga qarshi 580 kJ ish bajarilgan. Bu gaz uchun Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiy topilsin.

18. 20 kg azot bo'shliqda 1 m³ hajmdan 2 m³ hajmgacha adiabatik kengayadi. Azotning Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiyni ma'lum deb hisoblab gazning bunday kengayishidagi temperaturaning pasayishi topilsin.

19. 0.5 kmol uch atomli gaz bo'shliqda 0.5 m³ hajmdan 3 m³ hajmgacha adiabatik kengayadi. Bunda gazning temperaturasi 12.2⁰C ga pasaysa, Van-der-Vaals tenglamasidagi a doimiy topilsin.

20. Suvning Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiyni ma'lum deb hisoblab kritik holatdagi suv bug'ining zichligi topilsin.

21. Geliy uchun kritik kattaliklarning qiymatlarini ma'lum deb hisoblab, Kritik holatdagi geliyning zichligi topilsin.

22. 920 atm bosimda 1 kmol kislorod 0.056 m³ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning temperaturasi topilsin.

23. -200⁰C temperaturada 1 kmol geliy 0.237 m³ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib gazning bosimi topilsin.

24. Agar gazning hajmi va temperaturasi bu kattaliklarning kritik qiymatidan ikki marta kattaligi ma'lum bo'lsa, gazning bosimi kritik bosimdan necha marta kattaligi topilsin.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Van-der-Vaals tenglamasidagi a va b doimiylarning SI sistemasidagi o'lchov birliklari topilsin.

2. Kislorod gazi uchun kritik kattaliklar temperatura va bosimning qiymatlarini bilgan holda shu gaz uchun a va b doimiylar topilsin.

3. 3 atm bosimda 720 sm³ hajmdagi 2.5 g azotning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni real deb hisoblang.

4. 18 atm bosimda 190 sm³ hajmdagi 3 g kislorodning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni ideal va real deb hisoblang.

5. 10⁸ N/m² bosimda 20 g geliy 200 sm³ hajmni egallaydi. Gazni real deb hisoblab uning temperaturasi topilsin.

6. 80⁰C temperaturada 1 kmol karbonat angidrid gazi bor. Gazni ideal va real deb hisoblab bosim topilsin. 1) 1 m³ va 2) 0.05 m³ hajmlar uchun echilsin.

7. 1 m³ hajmli yopiq idishda 2·10⁶ N/m² bosimda 0.5 kmol karbonat angidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun temperaturani necha marta orttirish kerakligi topilsin.

8. 17⁰C temperaturada va 10⁷ N/m² bosimda 1.5 kmol kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.

9. 17⁰C va 5·10⁶ N/m² bosimda 2 kmol azot bor. Berilgan sharoitda azotni real gaz deb hisoblab ganing hajmi topilsin.

10. Vodorod uchun kritik kattaliklar temperatura va bosim ni ma'lum deb, vodorod molekulasining effektiv diametri topilsin.

**XI BOB. MODDANING AGREGAT HOLATLARI. SUYUQLIKLARNING
UMUMIY XOSSALARI. QATTIQ JISMLARNING TUZILISHI VA
XOSSALARIGA DOIR MASALALAR YECHISH.**

**11.1. Mavzu: Moddaning suyuq holati mavzusiga doir masalalar yechish
Auditoriyada yechiladigan masalalar**

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.

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

$$P = \frac{2\sigma}{R_2} + \frac{2\sigma}{R_3} = \frac{4\sigma}{R}$$

Laplas tenglamasi:
$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Laplas bosimi
$$P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Suyuqlikning nayda ko'tarilish balandligi uchun quyidagini olamiz:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$$

1-masala: Radiusi 0.25 mm bo'lgan vertikal kapillyar naychada suv ko'tariladi. Suvning sirt taranglik koeffitsiyenti 0.072 N/m . Ho'llash burchagi 0°.

Berilgan:

r=0.25 mm

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$$

$\delta=0.072 \text{ N/m}^3$

$$2 \cdot 0.072 \cdot 1/1000 \cdot 9.8 \cdot 0.25 = 0.058 \text{ m} =$$

$\rho=1000 \text{ kg/m}^3$

~~5.88~~ mm

$g=9.8 \text{ m/s}^2$

$\theta=0^0$

h-?

2-masala: Suv yuzasida turgan to'g'ri burchakli yupqa plastinka mavjud. Uning o'lchamlari 10 sm va 5 sm. Plastinka yuzasini 0.5 sm yuqoriga ko'tarishda sarflangan ishni toping. Suvning sirt taranglik koeffitsiyenti 0.072 N/m

Berilgan:

a=10 sm

$$E = \delta \cdot S$$

b=5 sm

l=0.5 sm

$$S = 2ab = 2 \cdot 0.1 \cdot 0.05 = 0.01 \text{ m}^2$$

$\delta=0.072 \text{ N/m}^3$

Δ

E- ?

$$E=0.072 \cdot 0.01=7.2 \cdot 10^{-4}=0.72 \text{ mm}$$

3-masala: Radiusi 1.5 mm bo'lgan suv tomchisi ichida yuzaga keladigan ichki bosim farqini hisoblang. Suvning sirt taranglik koeffitsiyenti $\delta=0.072 \text{ N/m}^3$

Berilgan

$$r=1.5 \text{ mm}$$

$$\delta=0.072 \text{ N/m}^3$$

P-?

$$=2 \cdot 0.072 / 0.0015 = 96 \text{ Pa}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. 50°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi topilsin.
2. To'yingan suv bug'ining zichligi 16°C temperaturali suvning zichligidan necha marta kam?
3. 200°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi 100°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligidan necha marta ortiq?
4. Yoz kunida nisbiy namlik 75 % va temperaturasi 30°C bo'lgan 1 m^3 havodagi suv bug'ining og'irligi qancha?
5. 1 m^3 yopiq hajmdagi havoning 20°C temperaturada nisbiy namligi 60 %. Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?
6. Temperaturasi 18°C va nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?
7. 30°C temperaturada to'yingan suv bug'ining 1 m^3 hajmdagi molekullar soni topilsin.
8. 50°C temperaturada 0.5 g suv bug'i 10 l hajmni egallaydi. Bunda nisbiy namlik qanday bo'ladi?
9. Boshlang'ich temperaturasi 20°C hajmi 1 l bo'lgan Vilson kamerasida suv bug'I bilan to'yingan havo bor. Porshen harakatlarga kameradagi havoning hajmi 1.25 marta kengaygan. Kengayishni adiabatik deb hisoblab
10. Normal sharoitda suvning suyuq va bug'simon holatidagi solishtirma hajmlar topilsin.
11. Termodinamikaning birinchi qonunidan foydalanib, 200°C temperaturada suvning solishtirma bug'lanish issiqligi topilsin. Suv uchun kritik temperatura $T_k=647^\circ \text{C}$ va kritik bosim $P_k=217 \text{ atm}$.
12. 100°C temperaturada suvning solishtirma bug'lanish issiqligining qancha qismi ichki energiyasini orttirishga sarf bo'ladi?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 77°C temperaturada benzolning solishtirma bug'lanish issiqligi 95 kal/g ga teng. Shu temperaturada bug'langan 20 g benzol ichki energiyasining o'zgarishi nimaga teng?
2. Klapeyron-Klauzius tenglamasidan foydalanib, 5°C temperaturadagi suvning solishtirma bug'lanish issiqligi topilsin.
3. 100°C va 120°C temperaturalarda to'yingan simob bug'ining elastikligi mos ravishda 0.28 mm.sim.ust va 0.76 mm.sim.ust. Ga teng. Shu temperaturalar oraliqlarida simobning solishtirma bug'lanish issiqligining o'rtacha qiymati topilsin.

4. 1 atm bosimda benzolning qaynash temperaturasi 80.2°C ga teng. Agar 75.6°C dan 80.2°C gacha bo'lgan temperatura intervalida benzolning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi $4 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ga teng bo'lsa, 75.6°C temperaturada benzol to'yingan bug'ining bosimi topilsin.

5. Etil spirti to'yingan bug'ining bosimi 40°C temperaturada 133 mm.sim.ust. ga teng, 68°C temperaturada esa 509 mm.sim.ust. Ga teng. Temperaturasi 50°C bo'lgan 1 g etil spirti bug'langanda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

11.2. Mavzu: Ho'llash va kapillyar hodisalar mavzusiga doir masalalar yechish

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 gorizontall (Laplas bosimi nol) bo'lmay, uning egrilik radiusi naycha radiusiga deyarli teng (Laplas bosimi katta) bo'ladi.

Bundan suyuqlikka uning egri sirti ko'rsatayotgan bosim uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$P = \frac{2\sigma}{r}$$

Agar suyuqlik sirti silindrik shaklda bo'lsa, u holda qo'shimcha bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P = \frac{\sigma}{r}$$

Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bog'liq bo'lgan qo'shimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

1. Ichki radiusi $r=1 \text{ mm}$ bo'lgan vertikal trubadan suv tomadi. Tomchining uzilish vaqtidagi radiusi topilsin. Tomchini sferik deb hisoblansin. Tomchining uziladigan joyining diametrini trubaning diametriga teng deb olinsin.

2. Har birining radiusi 1 mm bo'lgan ikkita simob tomchisining qo'shilishidan hosil bo'lgan tomchi necha gradusga isiydi?

3. Radiusi 3 mm bo'lgan simobning sferik tomchisini bir xil ikkita tomchiga ajratish uchun uning sirt taranglik kuchiga qarshi qancha ish bajarish kerak?

4. Radiusi 1 sm bo'lgan sovun pufagining hajmini ikki barobar ortirish uchun, uning sirt taranglik kuchiga qarshi qancha ish bajarish kerak? Sovun eritmasining sirt taranglik koeffitsiyentini $43 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$ ga teng deb olinsin.

5. 4 sm diametrli sovun pufagini ($\alpha=0,043 \text{ n/m}$) hosil qilish uchun, uning sirt taranglik kuchiga qarshi qancha ish bajarish kerak?

6. Suv sirtidan $h=20 \text{ sm}$ chuqurlikda bo'lgan $d=0,01 \text{ mm}$ diametri havopufakchadagi havoning bosimi (mm. sim. ust. larida) aniqlansin. Tashqi bosim $p_1=765 \text{ mm sim.ust.}$ ga teng.

7. Sovun pufagining ichidagi havoning bosimi atmosfera bosimidan 1mm sim ust. ga katta. Pufakning diametri nimaga teng? Sovun eritmasining sirt taranglik koeffitsiyentini 0,043 N/m ga teng deb olinsin.

8. Havo pufagi suv sitridan qanday chuqurlikda bo'lganda, undagi havoning zichligi 2 kg/m^3 ga teng bo'ladi? Pufakning diametri 0,015 mm, harorati 20°S va atmosfera bosimi 760 mm. sim.ust. ga teng.

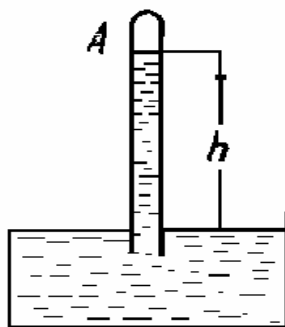
9. Suv sirtidan 5 m chuqurlikda bo'lgan havo pufagidagi havoning zichligi atmosfera ostidagi zichligidan (birday haroratda) necha marta katta? Pufakning radiusi $5 \cdot 10^{-4}$ mm.

10. Simobli idishning ichiga ichki diametri $d=3$ mm bo'lgan ikki uchi ochiq kapillyar naycha tushirilgan. Idishdagi va kapillyar naychadagi simob sathi balandliklarining farqi $\Delta h=3,7$ mm. Kapillyar naychadagi simob meniskining egrilik radiusi nimaga teng?

11. Suvli idishga diametri $d=1$ mm bo'lgan, ikki uchi ochiq kapillyar naycha tushirilgan. Idishdagi va kapillyar naychadagi suv sathi balandliklarining farqi $\Delta h=2,8$ sm ga teng. 1) Kapillyar naychadagi suv meniskining egrilik radiusi nimaga teng? 2) Agar suv to'la ho'llovchi bo'lganda, idishdagi va kapillyar naychadagi suv sathi balandliklarining farqi nimaga teng bo'lardi?

12. Ichki diametri $d=1$ mm bo'lgan kapillyar naychada benzol qanday balandlikka ko'tariladi? Benzol to'la ho'llovchi deb hisoblansin.

Mustaqil yechish uchun masalalar



1. Kapillyar naycha suvli idishga vertikal ravishda tushirilgan. Naychanning yuqori uchi kavsharlangan. Naychadagi va keng idishdagi suv sathi balandliklari bir xil bo'lishi uchun, naycha uzunligining 1,5 % inigina suvga tushirishga to'g'ri kelgan. Naychanning ichki radiusi nimaga teng? Tashqi bosim 750 mm.sim.ust. ga teng. Suvni to'la ho'llovchi deb hisoblansin.

2. Simob to'lg'izilgan barometrik A nayning ichki diametri: a) 5mm; b) 1,5 sm ga teng. Simob ustunining balandligiga qarab atmosfera bosimini bevosita topish mumkinmi? Agar atmosfera bosimi $p_0=758$ mm sim.ust. bo'lsa bu hollarning har birida simob ustunining balandliklari topilsin. Simobni to'la ho'llamovchi deb hisoblansin.

3. Barometrik naychanning ichki diametri 0,75 sm ga teng. Atmosfera bosimi simob ustunining balandligi orqali aniqlanganda qanday tuzatma kiritish kerak? Simobni to'la ho'llamovchi deb hisoblansin.

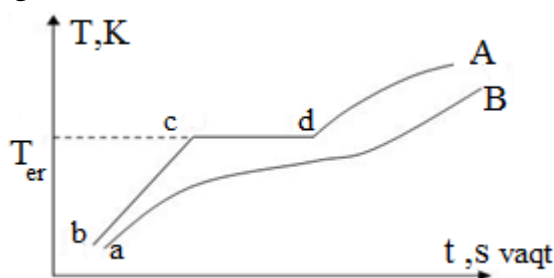
4. Barometrik naychanning ichki diametri; 1) 5mm, 2)10mm ga teng bo'lganda, atmosfera bosimi simob ustunining balandligi orqali hisoblaganda 760 mm

sim.ust.ga teng bo'lsa, qanday nisbiy xatolikka yo'l qo'yilgan bo'ladi? Simobni to'la ho'llamovchi deb hisoblansin.

5. Suvning sirtiga moylangan (suvda to'la ho'llanmaydigan) po'lat igna qo'yilgan. Igna suvda cho'kmasdan suzib yurishi uchun, uning diametri eng ko'pi bilan qanday bo'lishi kerak?

11.3. Mavzu: Moddaning agregat holati mavzusiga doir masalalar yechish.

Kristall va amorf jismlar erish vaqtida, Ya'ni qattiq holatdan suyuq holatga o'tish vaqtida o'zlarini turlicha vaziyatda tutadilar. Har bir kristall jism tomomila aniq erish nuqtasiga ega bo'ladi. 12.1-rasmdagi A chiziq tekis isitish bilan eritilayotgan kristall jism temperaturasining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini ifodalaydi. Chiziqning bc qismi qattiq holatdagi kristallning qizish jarayoni tasvirlaydi. Erish temperaturasi T_{er} ga etganda jismning isishi to'xtaydi, chunki berilayotgan issiqlikning hammasi jismning qattiq holatidan suyuq holatga o'tishi (erish issiqligi) uchun sarflanadi (cd soha). d nuqtada jismning to'la suyuq holatga o'tgan payti mos keladi. Chiziqning yuqoriga ko'tariluvchi oxirgi qismi suyuqlikning isishiga tegishlidir.



1-rasm. Kristall qattiq jismni (A) va amorf jismni (B) eritishda temperaturaning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi.

1-masala. Materialga berilgan kuch ta'sirida uning uzunligi o'zgaradi. Dastlabki uzunlik 2 m bo'lgan tolaga 1000 N kuch ta'sir qilmoqda. Tolaning maydoni 1 sm^2 , elastiklik moduli yung moduli $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$. Tolaning uzunligi qanchaga o'zgaradi.

Berilgan:

$$l_0 = 2 \text{ m}$$

$$F = 1000 \text{ N}$$

$$S = 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\Delta l = ?$$

$$E = \frac{\delta}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot E}$$

$$\Delta l = \frac{2 \cdot 10^3}{10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 10^{-4} = 0.1 \text{ mm}$$

2-masala. Bir idishda 1 mol ideal gaz bor. Dastlabki holatda bosim 100 kPa hajm 0.02 m^3 harorat topilsin. Gaz izobarik jarayonda hajmi 0.04 m^3 ga oshirildi. Gazning bajargan ishini va harorat o'zgarishini toping.

$$P = \text{const}$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$\begin{aligned}
P_1 &= 100 \text{ kPa} & T_1 &= \frac{P_1 V_1}{\nu R} \\
V_1 &= 0.02 \text{ m}^3 & T_1 &= \frac{10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 8.31} = 240 \text{ K} \\
V_2 &= 0.04 \text{ m}^3 & A &= P \cdot \Delta V = P(V_2 - V_1) = 10^5(0.04 - \\
T_1 &=? & & \\
0.02) &= 0.02 \cdot 10^5 = 2 \text{ kJ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \\
T_2 &= \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1} = \frac{240 \cdot 0.04}{0.02} = 480 \text{ K}
\end{aligned}$$

3-masala. Ikki turdagi suyuqlik ustunlari suyuqlik A va suyuqlik B diametrlari har xil bo'lgan vertikal turbaga joylashgan. Har birining zichligi, balandligi va diametrlari berilgan. Truba ustidagi bosim 10^5 Pa , truba ostidagi bosimni toping.

$$\rho_A = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$h_A = 0.6 \text{ m}$$

$$d_A = 0.05 \text{ m}$$

$$\rho_B = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$h_B = 0.4 \text{ m}$$

$$d_B = 0.04 \text{ m}$$

$$P_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = ?$$

$$\begin{aligned}
P &= P_0 + \rho_A g h_A + \rho_B g h_B \\
P &= 10^5 + 8000 \cdot 0.6 + 1200 \cdot 10 \cdot 0.4 = 10^5 + 9600 = \\
&= 110 \text{ kPa}
\end{aligned}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. 10 g shakar 0.5 l suvda eritilganda eritmaning osmotik bosimi $1.52 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga teng. Eritma qanday temperaturada bo'lgan. Shakar molekulari dissotsiyalanmaydi.

2. 87°C temperaturada bu eritmaning osmotik bosimi $1.65 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga teng. Suvning qancha molekulari eritmada eritilgan moddaning bitta molekulasiga to'g'ri keladi? Dissotsiyalanish bo'lmaydi.

3. 0.5 l suvda 2 g osh tuzi eritilgan. Osh tuzi molekularining dissotsiya darajasi 75 % ga teng. 17°C temperaturada eritmaning osmotik bosimi topilsin.

4. 18°C temperaturada 2.5 g osh tuzi 1 l suvda eritilgan. Eritmaning osmotik bosimi $1.6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga teng. Bu holda osh tuzi molekularining dissotsiya darajasi qanday?

5. 2 kmol muz eriganda entropiyaning o'zgarishi 22.2 kJ/grad ga teng. Tashqi bosim $1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga ko'tarilishi uchun muzning temperaturasi qanchaga o'zgarishini toping.

6. 10^5 N/m^2 bosimda qalayning erish temperaturasi 231.9°C ga teng. Suyuq qalayning zichligi 7 g/sm^3 . 1 kmol qalay eriganda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

7. Bosim 1 kN/sm^2 ga o'zgariganda temirning erish temperaturasi 0.012 K o'zgarsa, temir eriganda bir kilomol hajmning o'zgarishi topilsin.

8. Dyulong va Pti qonunidan foydalanib misning va temirning solishtirma issiqlik sig'imi aniqlansin.

9. 22 g azot isitilish natijasida uning absolyut temperaturasi 1.2 marta ortgan, entropiyasi esa 4.19 j/grad ga ortgan. Qanday sharoitda isitilgan o'zgarimas bosimdami yoki o'zgarimas hajmdami?

10. 0°C temperatura va kN/sm² bosimda bir kub metr havo V₁ hajmdan V₂=2V₁ hajmgacha izotermik kengayadi. Bu protsessda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

11. Karno siklidagi 2 ta adiabatialarning orasidagi qismda entropiyaning o'zgarishi 1 kkal/grad ga teng. Ikkita izotermalarning orasidagi temperaturalarning farqi 100°C ga teng. Bu siklda qancha miqdor issiqlik ishga aylanadi.

12. Erib turgan 640 g qo'rg'oshinni 0°C dagi muzga qo'yilgan. Bu protsesda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 6.6 g vodorod o'z hajmi ikki barobar ortguncha izobarik kengayadi. Bunday kengayishda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

2. 30°C temperaturada eritma ustidagi to'yingan bug'ning bosimi 31.5 mm.sim.ust. ga teng. 60°C temperaturada bu eritma ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi topilsin.

3. Eritma ustidagi to'yingan bug'ning bosimi 31.5 mm.sim.ust. ga teng. 60°C temperaturada bu eritma ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi topilsin.

4. Uzunligi 1 m va radiusi 1 mm bo'lgan po'lat simga 100 kg yuk osilgan. Simning cho'zilish ishi nimaga teng.

5. Uzunligi 50 sm va diametri 1 mm bo'lgan rezinka shlang bor. Agar rezinka uchun Puasson koeffitsiyenti 0.5 ga teng bo'lsa shlangni 10 sm ga cho'zgandagi uning ichki diametri topilsin.

11.4. Mavzu: Bug'lanish, qaynash va havoning nisbiy namligi mavzusiga doir masalalar yechish.

Suyuqlik ichki qismidan suyuqlik sirtiga kelgan molekulalar suyuqlikni tashlab ketishi mumkinmi? Suyuqlik ichidagi molekula suyuqlik sirtiga kelib, undan chiqib ketishi uchun ma'lum bir miqdorda ish bajarishi kerak. Bu ish molekulalar ta'sirni engisjga sarflanib, *bug'lanish ishi* deb yuritiladi. Bu ish molekulalarning kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Kinetik energiya tezlikka bog'liqligini hisobga olsak, molekula bug'lansin uchun umuman tezligi emas, shu tezlikni suyuqlik sirtiga tik tashkil etuvchisi v_n rol

o'ynaydi. Shunday qilib, qaysi molekula uchun $\frac{mv_n^2}{2} > A_b$ shart bajarilsa shu

molekula suyuqlikni tashlab ketadi. Suyuqlikdan chiqqan har bir molekula o'zi bilan $\varpi = \frac{3}{2}kT$ issiqlik harakati energiyasini olib ketar ekan, natijada suyuqlik soviydi.

Shunday qilib, o'zgarimas haroratda suyuqlik bug'lanishi uchun unga tashqaridan energiya berib turilishi kerak. Bu energiya suyuqlik haroratini ko'tarmay, bug'lanish ishiga sarflandi.

Fazaviy o'tishlar temperaturali tashqi parametr - p bosimga bog'liq; berilgan temperaturada o'tish sodir buladi. Fazaviy muvozanat chizig'i bizga ma'lum bulgan Klapeyron-Klauzius tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$$

bu erda L-o'tish molyar issiqligi, V_1 va V_2 har ikkala fazaning molyar hajmlari.

1-masala. Pechka 600 Wt quvvat bilan ishlayotgani holda 1 l suvni 20°C dan 100°C ga qizdirib so'ng to'liq bug'lantirish uchun qancha vaqt ketadi? Suvning solishtirma issiqlik sig'imi 4200 J/kg·K. Bug'lanish yashirin issiqligi 2.26·10⁶J/kg

Berilgan:

$$c=4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$L=2.26\cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$m=1 \text{ kg}$$

$$V=1 \text{ l}$$

$$P=600 \text{ Wt}$$

$$T_1=20^\circ\text{C}$$

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

$$t=?$$

$$Q_1=cm\Delta T$$

$$Q_1=4200\cdot 1\cdot (100-20)=336000 \text{ J}$$

$$Q_2=L\cdot m$$

$$Q_2=2.26\cdot 10^6\cdot 1=2.26\cdot 10^6 \text{ J}$$

$$Q=Q_1+Q_2$$

$$Q=336000+2.26\cdot 10^6=2.596\cdot 10^6 \text{ J}$$

$$Q=P\cdot t$$

$$t = \frac{2.596\cdot 10^6}{600} = 72 \text{ min}$$

2-masala. 20°C haroratda 40 m³ hajmli xona ichida nisbiy namlik 70 %. Xonadagi havo sovugach oynalarning yuzasi 10°C ga etadi. Shu vaqtda kondensetsiyalangan suvning massasi qancha bo'ladi? 20°C to'yingan bug' bosimi P₁=2.34 kPa, 10°C to'yingan bug' bosimi P₂=1.23 kPa

Berilgan:

$$\mu=18\cdot 10^3 \text{ kg/mol}$$

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

$$T_1=293 \text{ K}$$

$$T_2=283 \text{ K}$$

$$m=?$$

$$P_{\text{bug}'}=0.7\cdot 2.34\cdot 10^3=1.638 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{max}}=1.23 \text{ kPa}$$

$$\Delta P=1.638-1.23=0.408 \text{ kPa}$$

$$m=\frac{408\cdot 40\cdot 0.018}{8.31\cdot 283}=0.125 \text{ kg}$$

3-masala. Qaynatilayotgan idishdagi 500 g suv to'liq bug'languncha 25 daqiqada yo'qolgan. Pechka doimiy 750 Wt quvvat bilan ishlagan. Suvning bug'lanish yashirin issiqligini aniqlang.

Berilgan:

$$m=500 \text{ g}$$

$$t=25 \text{ min}$$

$$P=750 \text{ Wt}$$

$$L=?$$

$$Q=P\cdot t=750\cdot 25\cdot 60=1.125\cdot 10^6 \text{ J}$$

$$Q=L\cdot m$$

$$L=\frac{Q}{m}$$

$$L=\frac{1.125\cdot 10^6}{0.5}=2.25\cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

Auditoriyada yechiladigan maslalar

- 50°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi topilsin.
- To'yingan suv bug'ining zichligi 16°C temperaturali suvning zichligidan necha marta kam?

3. 200°C temperaturada to‘yingan suv bug‘ining zichligi 100°C temperaturada to‘yingan suv bug‘ining zichligidan necha marta ortiq?

4. Yoz kunida nisbiy namligi 75% va temperaturasi 30°C bo‘lgan 1 m³ havodagi suv bug‘ining og‘irligi qancha?

5. 1 m³ yopiq hajmdagi havoning 20°C temperaturada nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi bug‘ning to‘yinishi uchun yana qancha suv bug‘lanishi kerak?

6. Temperaturasi 18°C va nisbiy namligi 50% bo‘lgan xonada metall choynakka sovuq suv solingan. Suvning temperaturasi qanday bo‘lganda choynak terlamay qoladi?

7. 30°C temperaturada to‘yingan suv bug‘ining 1 sm³ hajmidagi molekullar soni topilsin.

8. 50°C temperaturada 0.5 g suv bug‘i 10 l hajmni egallaydi. Bunda nisbiy namlik qanday bo‘ladi?

9. Normal sharoitda suvning suyuq va bug‘simon holatidagi solishtirma hajmlari topilsin.

10. 100°C temperaturada suvning solishtirma bug‘lanish issiqligining qancha qismi sistemaning ichki energiyasini orttirishga sarf bo‘ladi?

11. Etil spirtining to‘yingan bug‘ining bosimi 40°C temperaturada 133 mm.sim.ust. ga teng. Temperaturasi 50°C bo‘lgan 1 g etil spirti bug‘langanda entropiyaning o‘zgarishi topilsin.

12. 0°C temperaturada simobning zichligi 13.6 g/sm³ ga tengligini bilgan holda, 300°C temperaturadagi zichligi topilsin. Simobning hajm kengayish koeffitsiyentini doimiy hisoblab, uning berilgan temperaturadagi o‘rtacha qiymatini $1.85 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$ ga teng deb olinsin.

13. Ichki diametri 1 mm bo‘lgan kapillyar naychada benzol qanday balandlikka ko‘tariladi?

14. Normal sharoitda suvning suyuq va bug‘simon holatidagi solishtirma hajmlari topilsin.

15. 100°C temperturada suvning solishtirmaa bug‘lanish issiqligining qancha qismi sistemaning ichki energiyasini orttirishga sarf bo‘ladi.

16. 77°C temperaturada benzolning solishtirma bug‘lanish issiqligi 95 kal/g ga teng. Shu temperaturada bug‘langan 20 g benzol ichki energiyasining o‘zgarishi nimaga teng?

17. Klapeyron-Klauzis tenglamasidan foydalanib, 2°C temperaturadagi suvning solishtirma bug‘lanish issiqligi topilsin.

18. Simob tutqichsiz ishlayotgan sovutgichdagi suvining temperaturasi 15°C bo‘lgan simobli diffuzion naos yordamida idishdagi havoning eng kami bilan qanday bosimgacha so‘rib olish mumkin?

19. Balandligi 10 sm bo‘lgan shisha idishga simob solingan. 20°C temperaturada simobning sathi idish og‘zidan 1 mm pastda bo‘lga. Simob idishdan toshib ketmasligi uchun uni necha gradusga isitish mumkin? Simobning hajm kengayish koeffitsiyenti $1.82 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$ ga teng deb olinsin. Shishaning kengayishi nazarga olinmasin.

20. 0°C temperaturada simob bilan limmo-lim to‘latilgan shish idishning og‘irligi 1 kg. Bo‘sh shisha idishning og‘irligi 0.1 kg . Shishaning kengayishini

hisobga olmasdan 100°C temperaturada idishga joylangan simobning miqdori topilsin. Simobning hajm kengayish koeffitsiyenti $1.8 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$ ga teng deb olinsin.

21. Havo pufagi suv sirtidan qanday chuqurlikda bo'lganda, undagi havoning zichligi 2 kg/m^3 ga teng bo'ladi. Pufakning diametri 0.015 mm , temperaturasi 20°C va atmosfera bosimi 760 mm.sim.ust. ga teng.

22. Suv sirtidan 5 m chuqurlikda bo'lgan havo pufagidagi havoning zichligi atmosfera ostidagi zichligidan necha marta katta? Pufakning radiusi $5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$.

23. 40°C temperaturada to'yingan suv bug'ining 1 sm^3 hajmidagi molekullar soni topilsin.

24. 70°C temperaturada 0.5 g suv bug'i 12 l hajmni egallaydi. Bunda nisbiy namlik qanday bo'ladi?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 60°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi topilsin.
2. To'yingan suv bug'ining zichligi 18°C temperaturali suvning zichligidan necha marta kam?
3. 150°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi 100°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligidan necha marta ortiq?
4. Yoz kunida nisbiy namligi 50% va temperaturasi 40°C bo'lgan 1 m^3 havodagi suv bug'ining og'irligi qancha?
5. 1 m^3 yopiq hajmdagi havoning 30°C temperaturada nisbiy namligi 50% . Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?
6. 1 m^3 yopiq hajmdagi havoning 30°C temperaturada nisbiy namligi 70% . Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?
7. Temperaturasi 20°C va nisbiy namligi 50% bo'lgan xonada metall choynakka sovuq suv solingan. Suvning temperaturasi qanday bo'lganda choynak terlamay qoladi?
8. 80°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi topilsin.
9. To'yingan suv bug'ining zichligi 30°C temperaturali suvning zichligidan necha marta kam?
10. 100°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi 50°C temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligidan necha marta ortiq?

11.5. Mavzu: Qattiq jism mavzusiga doir masalalar yechish.

Qattiq jismlar bir-biridan o'zlarining fizik xossalari bilan keskin farqlanadigan ikki turga, ya'ni kristall va amorf jismlarga bolinadi. Kristall jismlar ham o'z novbatida polikristall va monokristall jismlarga ajraladi. Polikristallar ko'p kristallardan tashkil topgan. Monokristallarning asosiy alomati uning atomlari tartibli joylashgan bo'lib, muntazam geometrik shaklda bo'lishidir. Masalan qor uchquninig muntazam geometrik naqshlar hosil qilishni va qor uchqunining muntazam shaklga ega bo'lishini hamma biladi. Shuningdek, deraza oynasida, suv muzlaganda muz kristallari muntazam geometrik shaklda bo'ladi. Demak monokristallarda atom yoki molekullar (zarrachalar) fazoda shunday tartib bilan joylashganki, shu atom zarralarini bir-biri bilan xayoliy chiziqlar bilan tutashtirsak, aniq geometrik shaklni hosil qiladi.

Kristall panjaraning potensial energiyasi E_r quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$E_p = -\frac{C'}{r^{k_1}} + \frac{C''}{r^{k_2}}$$

bu formuladagi birinchi had $-\frac{C'}{r^{k_1}}$ tortish kuchlariga tegishli had, $+\frac{C''}{r^{k_2}}$ esa itarishish kuchlariga tegishli. Hisoblashlarning ko'rsatishiga NaCl tipidagi kristall uchun formula quyidagi ifoda bilan almashitirilishi kerak:

$$E'_p = -0,2582 \frac{e^2}{r_0}$$

1-masala. Uzunligi 1.5 m va radiusi 2 sm bo'lgan po'lat silindrga 5000 N kuch ta'sir qilmoqda. Po'latning elastiklik moduli $2 \cdot 10^{11}$ Pa. Silindr qancha cho'ziladi. Berilgan:

$$\begin{aligned} l_0 &= 1.5 \text{ m} & S &= R^2 \\ R &= 2 \text{ sm} & &= Fl_0/SE \\ F &= 5000 \text{ N} & & \\ E &= 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} & &= 5000 \cdot 1.5/3.14 \cdot 0.0004^2 \cdot 10^{11} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}=? \end{aligned}$$

1-masala. Yig'ilgan uzunligi 2 m bo'lgan temir tayoqqa 2000 N kuch ta'sir qiladi. Agar temir tayoqning kesim maydoni 1 sm^2 bo'lsa va elastiklik moduli $2 \cdot 10^{11}$ Pa bo'lsa tayoq qancha cho'ziladi.

$$\begin{aligned} \text{Berilgan:} & \\ F &= 2000 \text{ N} \\ S &= 1 \text{ sm}^2 & \Delta l &= F \cdot l_0 / S \cdot E \\ E &= 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \\ l_0 &= 2 \text{ m} & \Delta l &= 2000 \cdot 2 / 1 \cdot 2 \cdot 10^{-11} = 0.2 \text{ mm} \\ x &=? \end{aligned}$$

2-masala. Materialga berilgan kuch ta'sirida uning uzunligi o'zgaradi. Dastlabki uzunlik 2 m bo'lgan tolaga 1000 N kuch ta'sir qilmoqda. Tolaning maydoni 1 sm^2 , elastiklik moduli yung moduli $2 \cdot 10^{11}$ Pa. Tolaning uzunligi qanchaga o'zgaradi.

$$\begin{aligned} l_0 &= 2 \text{ m} & E &= \frac{\delta}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l} \\ F &= 1000 \text{ N} \\ S &= 1 \text{ sm}^2 & \Delta l &= \frac{F \cdot l_0}{S \cdot E} \\ E &= 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \\ \Delta l &=? & \Delta l &= \frac{1000 \cdot 2}{0.0001 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 0.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Mis va temir qalinliklari 9 mm va 3 mm plastinkalar ustma-ust taxlangan. Mis plastinkaning tashqi sirti 50°C o'zgarmas temperaturada, temirning tashqi sirti esa 0°C temperaturada saqlanadi. Plastinkalar bir-biriga tegib turgan sirtning t_x temperaturasi topilsin. Plastinkalarning yuzi qalinligiga nisbatan juda katta.

2. Devor tashqi sirtining temperaturasi -20°C , ichki sirtining temperaturasi $+20^\circ\text{C}$ va uning qalinligi 40 sm. Agar devorning har 1 m^2 yuzidan 1 soatda 110 kkal issiqlik o'tib tursa, devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin.

3. Polining yuzi 4×5 m va balandligi 3 m bo'lgan xona to'rtta g'isht devori orqali bir minutda qancha issiqlik yo'qotadi? Xona temperaturasi 15°C , tashqi temperaturasi esa -20°C . G'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti 0.002 kal/grad·sm·sek, devorning qalinligi esa 50 sm. Pol va ship orqali yo'qotilgan issiqlik hisobga olinmasin.

4. Temir sterjinning bir uchi 100°C temperaturada saqlanadi, ikkinchi uchi esa muzga tegib turadi. Sterjenning uzunligi 14 sm, ko'ndalang kesimining yuzi esa 2 sm^2 . Sterjen shunday izolyatsiyalanganki, uning aylanma sirti orqali yo'qolgan issiqlik miqdorini nazarga olinmasa ham bo'ladi. 1) Sterjen bo'ylab issiqlikning oqish tezligi, 2) 40 minutda erigan muzning miqdori topilsin.

5. Uzunligi 50 sm bo'lgan, ko'ndalang kesimining yuzi 10 sm^2 bo'lgan mis sterjen uchlaridagi temperaturalarning farqi 15°C bo'lsa, 1 sek da undan o'tgan issiqlik miqdori topilsin. Issiqlikning isrofi nazarga olinmasin.

6. Suv to'ldirilgan 15 sm diametrli alyumeniy idish plitaga qo'yilgan. Suv qaynab har minutda 300 g suv bug'li hosil bo'ladi. Agar idish tubining qalinligi 2 mm bo'lsa, idish tubi tashqi sirtining temperaturasi topilsin. Issiqlikning isrofi nazarga olinmasin.

7. 9 sm radiusli metall silindrik idishga 0°C temperaturali muz to'ldirilgan. Bu idish 1 sm qalinlikdagi po'kak qatlami bilan issiqlikdan izolyatsiyalangan. Agar tashqi havoning temperaturasi 25°C bo'lsa, idishdagi muz qancha vaqtda eriydi? Issiqlik faqat o'rtacha radiusi 9.5 sm bo'lgan idishning yon sirti orqali kirib turadi deb hisoblansin.

8. Ko'ndalang kesimining yuzi 10 sm^2 bo'lgan sterjenni 0°C dan 30°C gacha isitganda cho'zilmasligi uchun, uning uchlariga qanday kuch qo'yilishi kerak?

9. 1 mm radiusli po'lat simga yuk osilgan. Sim 20°C da qancha cho'zilgan bo'lsa, bu yuk ta'sirida ham shuncha cho'ziladi. Yukning og'irligi topilsin.

10. 150°C temperaturali mis sim ikkita qo'zg'almas devor orasiga tarang qilib tortilgan. Soviganda sim qanday temperaturada uziladi? Guk qonuni simning uzulishiga qadar o'rinli deb hisoblansin.

11. Biror metallni 0°C da 500°C gacha isitilganda, uning zichligi 1.027 marta kamaygan. Temperaturalarning berilgan intervalida bu metallning issiqlikdan chiziqli uzayish koeffitsiyentini o'zgarmas hisoblab, uning qiymati topilsin.

12. Har qanday temperaturada po'lat sterjen mis sterjendan 5 sm uzun bo'lishi uchun po'lat va mis sterjenlarning 0°C temperaturadagi uzunliklari qanday bo'lishi kerak?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 0°C temperaturadagi og'irligi 1 kg bo'lgan mis bo'lagini isitish uchun 33 kal issiqlik sarf qilingan. Bunda uning hajmi necha marta kengaygan? Misning issiqlik sig'imi Dyulong va Pti qonunidan topilsin.

2. Ko'ngdalang kesimining yuzi 1.5 mm^2 bo'lgan mis simga 4.5 kg kuch ta'sir qilgandagina qoldiq deformatsiyaning boshlanganligi kuzatilgan. Sim materialining elastiklik chegarasi qanday?

3. Po'lat tros 1 t yuk osilganda uzilib ketmasligi uchun uning diametri eng kami bilan qanday bo'lishi kerak?

4. Vertikal osilgan mis simning uzunligi qancha bo'lganda u o'z og'irligi ta'sirida uzila boshlaydi?

5. Oldingi masala qo'rg'oshin sim uchun echilsin.

11.6. Mavzu: Qattiq jismning mexanik xossalari mavzusiga doir masalalar yechish.

Qattiq jismlar - bu o'z shaklini va hajmini saqlab turadigan jismlar bo'lib, ularda atomlar yoki molekulalar tartibli joylashgan. Ularning mexanik xossalari quyidagilar bilan ifodalanadi:

Elastik deformatsiya - kuch ta'sirida jismda yuzaga keladigan vaqtinchalik shakl o'zgarishi.

$$\delta = E \cdot \varepsilon$$

δ -kuch ta'siridagi bosim

E-Yung moduli

ε -deformatsiya

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Δl -uzunliklar farqi

l_0 -boshlang'ich uzunlik

ε -nisbiy uzayish

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

σ -Kuch ta'siridagi bosim

F-Kuch

S-ta'sir qiluvchi yuza

1-masala. Uzunligi 2 m bo'lgan po'lat tola kuch ta'sirida cho'ziladi. Uning kesim yuzasi $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$. Tolaga 5000 N kuch ta'sir qiladi. Po'latning Yung moduli $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$. Mustahkamlik chegarasi, deformatsiya, tolaning cho'zilish miqdorini toping.

Berilgan:

$$l_0 = 2 \text{ m}$$

$$S = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\sigma = ? \quad \varepsilon = ? \quad \Delta l = ?$$

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l_0 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0.01 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{5000}{5 \cdot 10^{-6}} = 10^9 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{10^9}{2 \cdot 10^{11}} = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Delta l = \varepsilon \cdot l_0$$

2-masala. Uzunligi 0.5 m kesim maydoni 0.01 m^2 bo'lgan beton blokka siqish kuchi 20000 N ta'sir qiladi. Yung moduli $3 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$. Mustahkamlik chegarasi, deformatsiya va blokning yangi uzunligi topilsin.

Berilgan:

$$l_0 = 0.5 \text{ m}$$

$$S = 0.01 \text{ m}^2$$

$$F = 20000 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{20000}{0.01} = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^{10}} = 6.67 \cdot 10^{-5}$$

$$E=10^{10} \text{ Pa} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Delta l = l - l_0$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = ? \quad l - l_0 = \varepsilon \cdot l_0$$

$$l = (\varepsilon + 1)l_0 = (6.67 \cdot 10^{-5} + 1) \cdot 0.5 = 0.5 \text{ m}$$

3-masala. Uzunligi 1 m, kesim maydoni 10^{-6} m^2 bo'lgan po'lat tola elastiklik cho'zilishining maksimal chegarasida ya'ni deformatsiya 0.002 ga etdi. Yung moduli $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$. Tolada hosil bo'lgan kuchni toping. Mustahkamlik chegarasini va elastiklik energiyasini hisoblang.

Berilgan:

$$l_0 = 1 \text{ m} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon = 2 \cdot 10^{11} \cdot 0.002 = 4 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$S = 10^{-6} \text{ m}^2 \quad F = \sigma \cdot S = 4 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} = 400 \text{ N}$$

$$\varepsilon = 0.002$$

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \quad \omega = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 0.002 = 4 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$$

$$F = ? \quad \sigma = ? \quad W = ? \quad V = S \cdot l = 10^{-6} \cdot 1 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W = V \cdot \omega = 4 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} = 0.4 \text{ J}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Dengiz chuqurligini o'lchash uchun paraxoddan po'lat trosga osilgan tosh tushirilgan. Tosh og'irligini trosning og'irligiga nisbatan hisobga olmasdan bu usulda eng ko'pi bilan qanday chuqurlikni o'lchash mumkinligi topilsin. Dengiz suvining zichligi 1 g/sm^3 ga teng deb olinsin.

2. Binoning tomidan uzunligi 40 va diametri 2 mm bo'lgan 2 mm po'lat sim osilib turibdi. Bu sim uzilib ketmasligi uchun unga eng ko'pi bilan qancha yuk osish kerak.

3. 1 mm diametrli po'lat simga og'irligi 981 N bo'lgan yuk osilgan. Yukli sim muvozanat vaziyatidan o'tishda uzilib ketmasligi uchun, uni eng ko'pi bilan qanday burchakka og'dirish kerak?

4. Uzunligi 50 sm va diametri 1 sm bo'lgan temir simga 1 kg og'irlikdagi tosh osilgan. Bu yukli sim uzilib ketmasligi uchun uni vertikal tekislikda eng ko'pi bilan sekundiga necha martadan tekis aylantirish mumkin?

5. Uzunligi 1 m bo'lgan bir jinsli mis sterjen bir uchidan o'tuvchi vertikal o'q atrofida bir tekisda aylantiriladi. Qanday tezlik bilan aylanganda sterjen uzilib ketadi?

6. Bir jinsli sterjen o'rtasidan o'tuvchi vertikal o'q atrofida tekis aylanadi. Sterjen uchining tezligi 380 m/s ga etkanda sterjen uzilib ketadi. Sterjen materialining mustahkamlik chegarasi topilsin. Sterjen materialining zichligi 7900 kg/m^3 .

7. Uzunligi 1 m va radiusi 1 mm bo'lgan po'lat simga 100 kg yuk osilgan. Simning cho'zilish ishi nimaga teng?

8. Uzunligi 42 sm bo'lgan va radiusi 3 mm bo'lgan rezinka shnurdan rogatka tayyorlangan. Rogatkadan otayotgan bola rezinka shnurni 20 sm ga cho'zgan. Agar rogatkadan 20 m/s tezlik bilan otilib chiqqan toshning og'irligi 0.02 kg ekanligi ma'lum bo'lsa, bu rezinkaning yung moduli topilsin. Rezinka cho'zilganda shnurning ko'ngdalang kesimining o'zgarishi nazarga olinmasin.

9. Uzunligi 50 sm bo'lgan va diametri 1 mm bo'lgan rezinka shlang bor. Agar rezinka uchun Puasson koeffitsiyenti 0.5 ga teng bo'lsa, shlangni 10 sm ga cho'zgardagi uning ichki diametri topilsin.

10. Uzunligi 10 sm va radiusi 0.1 mm bo'lgan simni 10° burchakka burish uchun kerak bo'lgan juft kuchning momenti topilsin. Sim materialining siljish moduli $5 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2$ ga teng.

11. Galvanometrning ko'zguchasi 10 sm uzunlikdagi 0.01 mm diametrli simga osilgan. Shula ko'zguchadan 1 m uzunlikdagi shkalada 1 mm ga siljigan bo'lsa, simni burovchi moment topilsin. Sim materialining siljish moduli $4 \cdot 10^{11} \text{ dina/sm}^2$ ga teng.

12. 10^0 burchakka buralgan, uzunligi 5 sm va diametri $4 \cdot 10^3 \text{ sm}$ bo'lgan simning potensial energiyasi topilsin. Sim materialining siljish moduli $5.9 \cdot 10^{11} \text{ dina/sm}^2$ ga teng.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Galvanometr o'ramidan elektr toki o'tayotganda uning ramkasiga mahkamlangan ko'zguchaga $2 \cdot 10^{-6} \text{ dina/sm}$ ga teng bo'lgan burovchi moment ta'sir qiladi. Bunda ramka kichik φ burchakka buraladi. Ramkani burish uchun sarf bo'lgan ish $8.7 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ ga teng. Ko'zguchadan qaytgan shula galvanometrda 1 m masofada joylashgan shkala bo'ylab qanday masofaga siljiydi.

2. Sim cho'zilganda hajmi o'zgarishligi uchun Puasson koeffitsiyentining qiymati topilsin.

3. 1000 kg/sm^2 bosim ostida siqilgan silindrik mis sterjen zichligining nisbiy o'zgarishi topilsin. Mis uchun Puasson koeffitsiyenti 0.34 ga teng.

4. Uzunligi 5 m bo'lgan temir sim vertikal osilgan. Simga 10 kg yuk osilgan bo'lsa, uning hajmi qanchaga o'zgaradi? Temir uchun Puasson koeffitsiyenti 0.3 ga teng.

5. Uzunligi 12 sm va radiusi 0.15 mm bo'lgan simni 10° burchakka burish uchun kerak bo'lgan juft kuchning momenti topilsin. Sim materialining siljish moduli $5 \cdot 10^3 \text{ kg/mm}^2$ ga teng.

11.7. Mavzu: Qattiq jismning issiqlik xossalari mavzusiga doir masalalar yechish

Qattiq jismning temperaturasi ko'tarilsa, zarralarning muvozanat vaziyatlardan chetlanishlari ko'payadi. Bu qattiq jismni issiqlikdan kengayishiga olib keladi. Ma'lumki, qattiq jismning 0°C (273 K) temperaturadagi uzunligini L_0 ga teng deb olib, uning ΔT temperaturagacha ($\Delta t = t - t_0$) qizdirgandagi ΔL uzayishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t$$

bunda α – qattiq jismning issiqlikdan chiziqli kengayishi koeffisienti. Bundan jismning T temperaturadagi L_T uzunligi;

$$L_T = L_0 + \Delta L = L_0(1 + \alpha \Delta t)$$

Ya'ni qattiq jismning uzunligi temperatura bilan chiziqli bog'lanishda o'sadi. Qattiq jismlar uchun chiziqli kengayish koeffisienti kichik bo'lib, ular 10^{-5} va 10^{-6}

K^{-1} ga yaqin kattalik atrofida bo‘ladi. Agar α ni aniqlasak $\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$ ni topamiz.

Demak, α jismning nisbiy chiziqli kengayishi $\frac{\Delta L}{L}$ ning temperatura o‘zgarishi ΔT ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta L}{L} - \frac{1}{K \cdot M} = 1K^{-1}.$$

Chiziqli kengayish natijasida jismning hajmi ham kattalashadi. Qirralarining uzunligi L_0 bo‘lgan kub shaklidagi jismning ko‘z oldimizga keltiraylik; uning L_0^3 ga teng bo‘lgan dastlabki hajmini V_0 orqali belgilaymiz. U holda T temperaturadagi hajm $V = L_0^3(1 + \alpha\Delta t)^3 = V_0(1 + \alpha\Delta t)^3$. Bu ifodadagi $(1 + \alpha\Delta t)$ binomni kubga oshirib, α^2 hamda α^3 qatnashgan hadlarni etiborga olmasak, jism hajminitemperaturaga bog‘liqlik ifodasi $V = V_0(1 + 3\alpha\Delta t)$ ga teng bo‘ladi. 3α ni β orqali belgilasak,

$$V = V_0(1 + \beta\Delta t)$$

Bu erdagi kattalik β qattiq jismning issiqlikdan haymiy kengayish koefitsienti deyiladi.

1-masala. Temirning molyar issiqlik sig‘imi $25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ deb oling. Agar 0.5 mol temirning ichki energiyasi 300 K va 600 K da E_2 bo‘lsa $E_2 - E_1$ ni hisoblang.

Berilgan:

$$C_v = 25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$v = 0.5 \text{ mol}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 600 \text{ K}$$

$$\Delta E = ?$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{S \Delta l}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{S E}$$

$$\Delta l = \frac{2 \cdot 10^3}{10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 10^{-4} = 0.1 \text{ mm}$$

2-masala. Qattiq jismdagi atomlar uch yo‘nalishda garmonik tebranadi. Har bir yo‘nalishda tebranish energiyasi KT . Har bir atomning umumiy energiyasini toping. 1 mol modda uchun ichki energiyani toping. Molyar issiqlik sig‘imi C_v ni toping. Berilgan:

$$E = KT$$

$$v = 1 \text{ mol}$$

$$\Delta U = ?$$

$$C_v = ?$$

$$E_1 = KT \quad 1 \text{ yo‘nalishda}$$

$$E = 3KT \quad 3 \text{ yo‘nalishda}$$

$$E = N_A \cdot 3KT = 3RT$$

$$C_v = \left(\frac{dE}{dT} \right)_v = \frac{d}{dT} 3RT = 3R$$

$$C_v = 3R = 25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

3-masala. Jism 200 K dan 500 K gacha qizdirilganda unga 16.7 kJ energiya berildi. Molyar issiqlik sig‘imi $C_v = 25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$. Molyar massa 50 g/mol . Jism massasi qancha bo‘lgan.

Berilgan:

$$T_1 = 200 \text{ K}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

$$E = 16.7 \text{ kJ}$$

$$C_v = 25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$Q = C_v \Delta T v$$

$$\Delta T = 500 - 200 = 300 \text{ K}$$

$$v = \frac{Q}{\Delta T \cdot C_v} = \frac{16700}{25 \cdot 300} = 2.227 \text{ mol}$$

$$m = v \cdot \mu = 2.227 \cdot 50 = 112 \text{ g}$$

$\mu=50$ g/mol
m-?

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. O'ta to'yingan eritmaga yoki qorishmaga joylashtirilgan kristallning o'sish tezligi turli yo'nalishlarda turlicha bo'lishini qanday isbotlash mumkin.
2. Monokristalldan qirqilgan kubni qizdirganda u parallelepipedga aylanishi mumkin. Bu hodisaning sababini tushuntiring.
3. Kristallning o'sish jarayonida uning sirti yaqinida eritmaning yuqoriga ko'tarilib boruvchi konsentratsion oqimi kuzatiladi. Bu hodisani tushuntiring.
4. Agar kristallni to'yinmagan eritmaga tushirsak nima hodisa ro'y beradi? Uni o'ta to'yingan eritmaga tushirsakchi?
5. O'rindiq oyog'i, o'tiriladigan qismi, tarang tortilgan gitara tori qanday deformatsiyalanadi?
6. Eshik oshiq-moshig'i mahkamlanadigan sterjenga qanday turdagi deformatsiya ro'y beradi.
7. Gimnastikachi turnikda to'la bir marta aylanganda unda qanday turdagi deformatsiyalar hosil bo'ladi?
8. Nima uchun velosiped ramasi yaxlit sterjenlardan qilinmay, ichi bo'sh trubalardan qilinadi.
9. Bir uchi bilan mahkamlab qo'yilgan diametri 2 mm bo'lgan simga massasi 10 kg yuk osilgan. Simdagi mexanik kuchlanishni toping.
10. Diametrlari bir-biridan 3 marta farq qiladigan ikkita simga bir xil cho'zuvchi kuchlar ta'sir qilmoqda. Ularda paydo bo'ladigan kuchlanishlarni taqqoslang.
11. Uzunligi 5 m, ko'ngdalang kesimi yuzi 100 sm^2 bo'lgan balka uchlariga 10 kN dan kuch qo'yilganda 1 sm ga siqildi. Nisbiy siqilishni va mexanik kuchlanishni toping.
12. Uzunligi 2 m bo'lgan alumeniy simni cho'zganimizda unda 35 MPa mexanik kuchlanish hosil bo'ladi. Nisbiy va absolyut uzayishni toping.

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Po'lat tros 0.001 ga nisbiy uzayganda unda hosil bo'ladigan kuchlanishni toping.
2. Mis va po'lat simlarga bir xil cho'zuvchi kuch ta'sir qilganda mis simning absolyut cho'zilishi po'lat simga qaraganda qancha katta bo'ladi. Simning uzunligi va ko'ngdalang kesimi bir xil.
3. Uzunligi 3 m, kesimi 1 mm^2 bo'lgan po'lat simning uchlariga har biri 200 N bo'lgan cho'zuvchi kuchlar qo'yiladi. Absolyut va nisbiy uzayishlarni toping.
4. Uzunligi 4 m va ko'ngdalang kesimi 0.5 mm^2 bo'lgan po'lat simni 0.2 mm ga cho'zish uchun qancha kuch qo'yish lozim.
5. Agar baliq ovlaydigan qarmoq iplarining uchiga bir xil kuchlar qo'yilgan bo'lsa, diametri 0.2 mm bo'lgan ipning nisbiy uzayishidan necha mart katta?

11.8. Mavzu: Qattiq jismning issiqlik o'tkazuvchanligi mavzusiga doir masalalar yechish

Qattiq jismda issiqlik yuqori haroratli joydan past haroratli joyga issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan tarqaladi. Bu jarayon harorat gradiyenti mavjud bo'lganda sodir bo'ladi.

$$Q = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot t$$

λ -Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti

Q-issiqlik miqdori

S-kesim yuzasi

$\frac{dT}{dx}$ -harorat gradiyenti

t-vaqt

Issiqlik oqimi - bu harorat farqi, yo'l uzunligi, yuzasi, va vaqt bilan bog'liq bo'lgan fizik kattalik. Unda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti asosiy rol o'ynaydi

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_2 - T_1}{l}$$

Φ -issiqlik oqimi quvvati(Wt)

1-masala. Uzunligi 0.02 m, ko'ngdalang kesim yuzi 0.005 m² bo'lgan mis tayoqchani bir uchi 100⁰C, ikkinchisi esa 20⁰C haroratda ushlab turildi. Tayoqcha orqali 10 daqiqa davomida qancha issiqlik o'tadi? $\lambda=380$ W/m·K

Berilgan:

$$l=0.02 \text{ m}$$

$$Q = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot t = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_2 - T_1}{l} \cdot t$$

$$S=0.005 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.005 \cdot 380 \cdot \frac{100-20}{0.02} \cdot 600 = 4560000 = 4.5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$T_1=100^{\circ}\text{C}$$

$$T_2=20^{\circ}\text{C}$$

$$t=600 \text{ s}$$

$$\lambda=380 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Q-?

2-masala. Temperaturasi 70⁰C va 20⁰C bo'lgan 2 ta yuzani bog'lovchi 5 mm qalinlikdagi plastmassa quvvat (kesim yuzasi 0.01 m²) orqali issiqlik oqimi quvvatini toping. Plastmassa uchun $\lambda=0.2$ W/m·K

Berilgan:

$$T_1=70^{\circ}\text{C}$$

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_2 - T_1}{l}$$

$$T_2=20^{\circ}\text{C}$$

$$\Phi = 0.2 \cdot 0.01 \cdot \frac{70-20}{0.005} = 20 \text{ W}$$

$$l=0.005 \text{ mm}$$

$$S=0.01 \text{ m}^2$$

$$\lambda=0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Φ -?

3-masala. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini $\lambda=0.8$ W/m·K bo'lgan g'isht devorning qalinligi 0.3 m, devor yuzasi 10 m². Agar devorning tashqi tomoni harorati 5⁰C ichki tomoni harorati esa 25⁰C bo'lsa 1 soatda qancha issiqlik tashqariga chiqadi? $\lambda=0.8$ W/m·K

Berilgan:

$$\lambda=0.8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$Q = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot t = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_2 - T_1}{l} \cdot t$$

$$l=0.3 \text{ m} \qquad Q=0.8 \cdot 10 \cdot \frac{25-5}{0.3} \cdot 3600 = 1920096 \text{ J} = 1.9 \text{ MJ}$$

$$S=10 \text{ m}^2$$

$$T_1=25^\circ\text{C}$$

$$T_2=5^\circ\text{C}$$

$$t=3600 \text{ s}$$

$$Q=?$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Simga yuk osildi. So'ngra simni ikki buklab, o'sha yukning o'zi osildi. Simning ikkala holdagi absolyut va nisbiy uzayishini taqqoslang.
2. Agar yuklanishni o'zgartirmasdan simni o'sha materialdan uzunligi ham, diametri ham ikki marta katta bo'lgan sim bilan almashtirsak, absolyut uzayishi necha marta o'zgaradi?
3. Baliq ovlaydigan kaprondan qilingan leskaning metri 0.12 mm, uzilish yuklanishi 7.5 N. Mazkur navli kapron ipning uzilishga mustahkamlik chegarasini aniqlang.
4. 2 t yuk ko'tarishga mo'ljallangan tros diametri 2mm bo'lgan nechta po'lat simdan tashkil topgan bo'lishi lozim?
5. Okeanologik tekshirilishlardan okean tubidan tekshirish uchun loy olish maqsadida po'lat trosga bog'lab maxsus asbob tushiriladi. Bunda botish chuqurligining chegarasi qanday? Asbobning massasini hisobga olmang.
6. Po'lat tros 0.01 ga nisbiy uzayganda unda hosil bo'ladigan kuchlanishni toping.
7. Mis va temir simlarga bir xil cho'zuvchi kuch ta'sir qilganda mis simning absolyut cho'zilishi temir simga qaraganda qancha katta bo'ladi. Simning uzunligi va ko'ngdalang kesimi bir xil.
8. Uzunligi 3.5 m, kesimi 1.5 mm² bo'lgan po'lat simning uchlariga har biri 250 N bo'lgan cho'zuvchi kuchlar qo'yiladi. Absolyut va nisbiy uzayishlarni toping.
9. Uzunligi 4.5 m va ko'ngdalang kesimi 0.65 mm² bo'lgan po'lat simni 0.24 mm ga cho'zish uchun qancha kuch qo'yish lozim.
10. Agar baliq ovlaydigan qarmoq iplarining uchiga bir xil kuchlar qo'yilgan bo'lsa, diametri 0.22 mm bo'lgan ipning nisbiy uzayishidan necha marta katta?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 1.5 mm diametrli po'lat simga og'irligi 981 N bo'lgan yuk osilgan. Yukli sim muvozanat vaziyatidan o'tishda uzilib ketmasligi uchun, uni eng ko'pi bilanqanday burchakka og'dirish kerak?
2. Uzunligi 40 sm va diametri 1.5 sm bo'lgan temir simga 1.2 kg og'irlikdagi tosh osilgan. Bu yukli sim uzilib ketmasligi uchun uni vertikal tekislikda eng ko'pi bilan sekundiga necha martadan tekis aylantirish mumkin?
3. Uzunligi 1.8 m bo'lgan bir jinsli mis sterjen bir uchidan o'tuvchi vertikal o'q atrofida bir tekisda aylantiriladi. Qanday tezlik bilan aylanganda sterjen uzilib ketadi?

4. Bir jinsli sterjen o'rtasidan o'tuvchi vertikal o'q atrofida tekis aylanadi. Sterjen uchining tezligi 480 m/s ga etkanda sterjen uzilib ketadi. Sterjen materialining mustahkalik chegarasi topilsin. Sterjen materialining zichligi 7900 kg/m³.

XII BOB. VAKUUM FIZIKASI VA PAST BOSIMDAGI HODISALARGA DOIR MASALALAR YECHISH

12.1. Mavzu: Past bosimlarni hosil qilish va o'lchash, mavzusiga doir masalalar yechish.

Past bosim (vakuum) - bu atmosfera bosimidan past bo'lgan bosim holatini bildiradi. Texnikada odatda quyidagi bosim diapazonlari farqlanadi:

Bosim darajasi va qiymatiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi:

- 1) Past bosim - 10⁵-10³ Pa
- 2) O'rta vakuum - 10³-10⁻¹ Pa
- 3) Yuqori vakuum - 10⁻¹-10⁻⁵ Pa
- 4) Juda yuqori vakuum - <10⁻⁵Pa

Past bosimni hosil qilish usullari

Past bosimlar maxsus vakuum nasoslari yordamida hosil qilinadi. Har xil bosim diapazonlariga qarab, nasoslar turli xildagi fizikaviy printsiplarga asoslanadi:

Mexanik (porshenli, aylanuvchi) nasoslar - past bosimgacha (10²-10³ Pa)

Diffuzion nasoslar - yuqori vakuum (10⁻⁴ Pa gacha)

Turbomolekulyar nasoslar - juda yuqori vakuum uchun (10⁻⁷ Pa va undan past)

Ionli va sublimatsion nasoslar - ultra yuqori vakuum olishda

1-masala. Siqilayotgan gaz hajmi 100 sm³, siqilgandan keyingi hajmi esa 2 sm³. Bosim farqi 25 sm simob ustuni bilan o'lchanadi. Simobning zichligi 13600 kg/m³. Bosimni aniqlang.

Berilgan:

$$V_0=100 \text{ sm}^3$$

$$P = \frac{P_0 V_0}{V}$$

$$V=2 \text{ sm}^3$$

$$P = \rho gh$$

$$h=25 \text{ sm}$$

$$P = 13600 \cdot 9.81 \cdot 0.25 = 34 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$P = \frac{34 \cdot 10^3 \cdot 100}{2} = 1.7 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 1.7 \text{ MPa}$$

P-?

2-masala. Vakuummetr gazning issiqlik o'tkazuvchanligiga asoslangan. Agar g'altakdan o'tayotgan tok o'zgarmas bo'lsa va harorat 350 K ni ko'rsatsa bosim 100 Pa edi. Agar harorat 290 K ga tushsa yangi bosimni aniqlang.

Berilgan:

$$T_1=350 \text{ K}$$

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

$$T_2=290 \text{ K}$$

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

$$P_1=100 \text{ Pa}$$

$$P_2 = \frac{100 \cdot 290}{350} = 83 \text{ Pa}$$

P₂-?

3-masala. Vakuum nasosi 1 m³ hajmli idishdagi havoni so‘rib 5 daqiqada 1000 Pa bosimgacha pasaytirdi. Boshlang‘ich bosim 10⁵ Pa. Harorat o‘zgarish deb qaralsa nasos tomonidan chiqarilgan gaz hajmini hisoblang.

Berilgan:

$$V_0 = 1 \text{ m}^3$$

$$P_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = 1000 \text{ Pa}$$

V-?

$$P_0 V_0 = PV$$

$$V = \frac{P_0 V_0}{P}$$

$$V = \frac{10^5}{10^3} = 100 \text{ m}^3$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Agar 200 kPa bosimda va 240 K temperaturada gazning hajmi 40 l ga teng bo‘lsa, shu gazda qancha miqdor modda bor.

2. Sig‘imi 20 l bo‘lgan ballondagi siqilgan havoning bosimi 12⁰C temperaturada qanday bo‘ladi? Ballondagi shu havoning massasi 2 kg.

3. Hajm normal sharoitlarda ko‘rsatilgan deb hisoblab, 64 m³ yoniuvchi tabiiy gazning massasini toping. Yoniuvchi tabiiy gazning molyar massasini metanning molyar massasi bilan bir xil deb oling.

4. Temperaturasi 20⁰C va bosimi 100 kPa bo‘lgan 1.45 m³ havo suyuq holatga keltirildi. Agar suyuq havoning zichligi 861 kg/m³ bo‘lsa, u qancha hajmni egallaydi.

5. 360 K maksimal temperaturada bosim 6 MPa dan oshmasligi uchun 50 mol saqlanadigan balonning sig‘imi qancha bo‘lishi lozim?

6. Ikkita bir xil ballonda bir xil temperaturada massalari teng bo‘lgan vodorod va karbonat angidrid gazi bor. Gazlarning qaysi biri ballon devoriga ko‘proq va necha marta ko‘proq bosim beradi.

7. Massasi 320 g bo‘lgan kislorodning boshlang‘ich holatidagi bosimi 83 kPa edi. Temperaturasi 100 K ortganda kislorodning hajmi 50 l ortdi va bosimi 99.6 kPa bo‘ldi. Gazning boshlang‘ich hajmini va temperaturasini toping.

8. Ballonda 15⁰C temperaturali gaz bor. Agar gazning 40% I ballondan chiqsa va bunda temperaturasi 8⁰C ga kamaysa, gazning bosimi necha marta kamayadi?

9. Venera sirtida temperatura va atmosfera bosimi mos ravishda 750 K va 9120 kPa. Planeta sirtidagi atmosfera zichligini toping. Bunda uni karbonat angidrid gazidan iborat deb hisoblang.

10. Yoz kunlarining birida barometr 730 mm.sim.ust. ni, termometr esa 30⁰C. Qish kunlaridan birida esa bu asboblarning ko‘rsatishlari quyidagicha bo‘ldi: 780 mm.sim.ust. Va -30⁰C. Havoning shu kunlardagi zichliklarini taqqoslang.

11. Gaz 0.2 MPa bosimda va 15⁰C temperaturada 5 l hajmga ega. Normal sharoitda shunday massali gazning hajmi qancha bo‘ladi?

12. Normal sharoitda bo‘lgan 1 m³ tabiiy gaz yonganda 36 MJ issiqlik ajraladi. 110 kPa bosim ostida va 7⁰C temperaturada bo‘lgan 10 m³ gaz yonganda qancha miqdorda issiqlik ajraladi?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Agar zil-130 avtomobilining dvigateli silindrlarida siqish takti oxirida temperatura 50 dan 250⁰C gacha ortsa, hajm esa 0.75 dan 0.12 l gacha kamaysa,

silindrda ishchi aralashmaning bosimi qanday bo‘ladi? Dastlabki bosim 80 kPa ga teng.

2. Ideal gazning absolut temperaturasi 2 marta ortganda uning bosimi 25 % ortdi. Bunda hajmi necha marta o‘zgargan?

3. Rezina qayiqqa 7⁰C temperaturada 108 kPa ishchi bosimgacha dam berildi. Agar chegaraviy bosim 110.6 kPa bo‘lib, hajmning kattalashishi 4 % dan oshmasligi lozim bo‘lsa, temperatura 37⁰C ga etganda qayiqning yorilish xavfi bormi? Yorilish xavfini yo‘qotish uchun nima qilish lozim?

4. 19⁰C temperatura va atrofdagi bosim 75 sm.sim.ust. bo‘lganda sinfdagi kaltalashirilgan manometrda simob ustuni mavjud. Naycha qaynoq suvga tushirilganda chap tirsakdagi havo ustuni 7 sm uzunlikkacha kengayadi. Suvning temperaturasini toping.

5. Normal sharoitda bo‘lgan 1 m³ tabiiy gaz yonganda 56 MJ issiqlik ajraladi. 100 kPa bosim ostida va 8⁰C temperaturada bo‘lgan 10 m³ gaz yonganda qancha miqdorda issiqlik ajraladi?

12.2. Mavzu: Molekulyar kinetik nazariya mavzusiga doir masalalar yechish

Gaz qonunlarini o‘rganishda molyar massa tushunchasidan foydalanish qulay hisoblanadi. Moddaning bir molining massasi uning **molyar massasi** deyiladi va μ bilan belgilanadi. Uglarod-12 izotopining 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (atom, molekula) lardan tashkil topgan moddaning miqdori bir mol deb ataladi. Bu birlik shu bilan qulayki, 1 mol gazdagi molekular soni gazning turiga bogliq bo‘lmagan o‘zgarmas kattalik bo‘lib, ushbu qiymat Avagadro soni $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ deb ataladi. Bitta molekulaning massasi m bo‘lsa, Avagadro soni orqali molyar massa quyidagi ifodaga ega bo‘ladi:

$$\mu = m_0 \cdot N_A \quad (1)$$

Atom va molekularlarning radiusini aniqroq tasavvur qilish uchun quyidagi misolni keltiraylik. 1sm³ mis (Cu) tarkibidagi hamma atomlarni bir qator qilib tersak, uzunligi 14 milliard kilometr bo‘lgan zanjir hosil bo‘ladi. Bu uzunlik erdan quyoshgacha bo‘lgan masofada qariyb 90 marta ortiq. Zamonaviy elektron mikroskoplar radiusi mikrondan bir necha yuz marta kichik bo‘lgan mikrokrallarni kuzatish imkoniyatini beradi. Bunday mikrokrall bir necha yuz ming atomdan iboratdir. Vodrod atomining massasini hisoblaylik.

$$m_H = \frac{\mu}{N} = \frac{1/16 \text{ g/mol}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,662 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Normal sharoitda istalgan bir kilomol gazning egallagan hajmi $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ga teng ekanligini e‘tiborga olsak, 1 m³ hajmdagi molekular soni $n_0 = N/N_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ga tengligini topamiz. Bu songa **Loshmidt soni** deyiladi.

Atomning o‘lchami tazminan $\sim 10^{-8} \text{ sm}$ ga teng. Yadro o‘lchami esa $\sim 10^{-13} \text{ sm}$, Atomning massasi asosan uning yadrosida joylashgan. Yadro Z ta proton va $N = A - z$ neytrondan tashkil topgan. Yuqrida ta’kidlanganidek, har qanday moddaning bir molida Avagadro soniga teng bo‘lgan molekular bo‘ladi. Mos ravishda N ta molekuladan tashkil topgan gazning massasini quyidagi ifodadan topiladi:

$$m = m_0 \cdot N \quad (2)$$

(1) va (2) ifodalardan V hajmdagi gaz molekulalarning sonini aniqlaymiz:

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A \quad (3)$$

Demak, biror hajmdagi modda molekulalari sonini aniqlashda gaz massasining m/μ nisbiy massasi, ya'ni moddadagi mollar sonini bilish kifoyadir. Ravshanki, N ta gaz molekulasig egallangan hajm ma'lum bo'lsa, birlik hajmdagi molekulalar soni uning konsentratsiyasi deyiladi va bu kattalik $n = \frac{N}{V}$ ifodadan aniqlanadi. Avagadro soni yordamida molekulalarning kattaligini va absolyut massalarini hisoblash mumkin. Masalan, 1 sm³ suvni olaylik. Uning massasi 1g bo'lib, bir mol suvning 1/18 qismini tashkil qiladi. Demak, 1 sm³ suvda $\frac{6,023}{18} \cdot 10^{23} = 3,34 \cdot 10^{22}$ dona suv molekulasig bo'ladi. Shunday qilib, bitta suv molekulasi hajmi $v = \frac{1}{3,34 \cdot 10^{22}} \text{ sm}^3 = 3 \cdot 10^{-23} \text{ sm}^3$ ga teng. Uning o'lchami (radiusi) taxminan 10^{-8} sm ga teng.

1-masala. Samarali diametri $3 \cdot 10^{-10}$ m bo'lgan molekulalardan tashkil topgan ideal gazda molekulalar zichligi $2,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$. Gazning o'rtacha erkin yugurish yo'lini toping.

Berilgan:

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

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$$

$$N = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{20} \cdot 2,5 \cdot 10^{25}} = \frac{1}{9,9 \cdot 10^6} = 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = ?$$

2-masala. Gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s zichligi $2 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$. Gaz molekulalarining massasini toping. Bosim 10^5 Pa deb oling.

Berilgan:

$$v = 500 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{1}{3} v^2 \cdot n \cdot m_0$$

$$n = 2 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

$$m_0 = \frac{3P}{v^2 \cdot n}$$

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

$$m_0 = \frac{3 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{25} \cdot 2,5 \cdot 10^4} = 6 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m = ?$$

3-masala. 1 m³ hajmdagi ideal gazda molekulalar soni $2 \cdot 10^{25}$ molekula massasi $5 \cdot 10^{-26}$ kg. Gazning o'rtacha kvadratik tezligi 400 m/s. Gazning ichki energiyasi va haroratini toping.

Berilgan:

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

$$U = \frac{3}{2} kT \quad E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$N = 2 \cdot 10^{25}$$

$$U = E$$

$$m = 5 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

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

$$v = 400 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{m v^2}{3K} = \frac{5 \cdot 10^{-26} \cdot 16 \cdot 10^4}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 193 \text{ K}$$

U-? T-?

$$U = \frac{3}{2} kTN = 1.5 \cdot 2.5 \cdot 10^{25} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 193 = 10^5 \text{ J}$$

Auditoriyada yechiladigan masalalar

1. Massasi 5.4 kg bo'lgan aluminiy quymada qancha miqdor modda bor?
2. 500 mol karbonat angidridning massasi qancha?
3. Modda miqdorlari teng bo'lgan qalay va qo'rg'oshindan yasalgan jismlarning massalarini va hajmlarini taqqoslang.
4. 2 m³ azotda qancha miqdorda modda bo'lsa, o'shancha miqdorda modda bo'lgan kislorod qanday hajmni egallaydi? Gazlarning temperaturasi va bosimi bir xil.
5. Avagadro sonini bilgan holda vodorod molekulasini va atomining massasini toping.
6. Massasi 135 g bo'lgan alumeniy buyumda qancha atom borligini toping.
7. Sirti 20 sm² bo'lgan buyumga 1 μm qalinlikda kumush qatlami qoplanadi. Qoplamda qancha kumush atomi bor?
8. Avagadro soni, moddaning zichligi, molyar massani bilgan holda shu moddaning birlik massasidagi, birlik hajmidagi, massasi m bo'lgan jismdagi hajmi V bo'lgan jismdagi molekular sonini hisoblash formulalarini keltirib chiqaring.
9. Havodagi simob Hg bug'lari molekularining eng katta konsentratsiyasi 3·10¹⁶ m⁻³, zaharli xlor molekulariniki esa 8.5·10¹⁸ m⁻³. Bir kub metr havoda o'sha moddalarning massasi qanday bo'lganda zaharlanish xavfi tug'iladi? Nima uchun simob bilan tajriba qilayotganda ehtiyot bo'lish lozim?
10. Vodorod molekulasining diametri 2.3·10⁻¹⁰ m deb, 1 mg shu gazdagi barcha molekular bir-biriga zich qilib bir qatorga joylashtirilsa, qanday uzunlikdagi ip hosil bo'lishini hisoblang. Bu ipning uzunligini erdan oygacha bo'lgan o'rtacha masofa 3.8·10⁵ km bilan taqqoslang.
11. Stakandagi massasi 200 g bo'lgan suv 20 sutka ichida butunlay bug'lanadi, 1 sek da uning sirtidan o'rtacha qancha suv molekulasini uchib chiqib turgan?
12. O'rtacha chuqurligi 10 m, sirtining yuzi 20 km² bo'lgan ko'lga 0.01 g massali osh tuzi kristali tashlanadi. Ko'ldan olingan jism 2 sm² bo'lgan suvda qancha tuz molekulasini bo'ladi? Bunda tuz erib, butun suv hajmida tekis taqsimlangan deb hisoblang.
13. Bir tomchi sutga mikroskopdan qaraganda rangsiz suyuqlik fonida muallaqa holatda turgan mayda moy tomchilarini ko'rish mumkin. Ularning tartibsiz harakat qilishini qanday tushuntirsa bo'ladi?
14. Nima uchun siniq stakan bo'laklaridan butun stakan yig'ish mumkin emas, lekin yaxshilab jilvirlangan o'lchov plitalarini bir-biriga zich yopishtirish mumkin?
15. Molekulari konsentratsiyasi va ularning o'rtacha kvadratik tezliklari teng bo'lgan kislorod va vodorodning bosimlarini taqqoslang.
16. Gazning hajmi 3 marta kamayganda uning bosimi necha marta o'zgaradi? Molekularning o'rtacha harakatlanish tezligi o'zgarishsiz qoldi.
17. Agar azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 500 m/s, uning zichligi esa 1.35 kg/m³ bo'lsa, azotning bosimi qanday bo'ladi?

18. Gaz 6 kg massaga ega. U 200 kPa bosimda 5 m³ hajmni egallasa, shu gaz molekulari harakatining o‘rtacha kvadratik tezligi qanday bo‘ladi?

19. Agar kislorodning bosimi 0.2 MPa, molekularining o‘rtacha kvadratik tezligi 700 m/s ga teng bo‘lsa uning molekulari konsentratsiyasini toping.

20. 20 kPa bosimda bir atomli gaz molekulasining o‘rtacha kinetik energiyasini toping. Ko‘rsatilgan bosimda bu gaz molekularining konsentratsiyasi $3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$.

21. Bir atomli gazning hajmi 3 marta kamaytirilganda va molekularining o‘rtacha kinetik energiyasi 2 marta oshirilganda shu gazning bosimi necha marta o‘zgaradi?

22. Hozirgi zamon texnikasi yordamida 1 pPa vakuum hosil qilish mumkin. Ana shunday 1 sm³ vakuumda 300 K temperaturada nechta gaz molekulasi qoladi?

23. Sig‘imi 10 l bo‘lgan ballonda 27⁰C temperaturali gaz bor. Gaz sizib chiqishi tufayli ballondagi bosim 4.2 Pa pasayadi. Agar temperatura o‘zgarishsiz saqlangan bo‘lsa, ballondan qancha molekula chiqib ketgan?

24. Agar kislorod va vodorod gazlarining temperaturali bir xil bo‘lsa, kislorod molekulasining o‘rtacha kvadratik tezligidan necha marta kichik?

Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Tempertura qanday bo‘lganda azot molekularining o‘rtacha kvadratik tezligidan necha marta kichik?

2. Yoz kunida temperatura 30⁰C bo‘lganda havo molekulasining o‘rtacha kvadratik tezligi qish kunida temperaturasi -30⁰C bo‘lgandagiga qaraganda necha marta katta bo‘ladi?

3. Gazning birlik massadagi molekular sonini toping. Bu gaz molekularining T absolyut temperaturadagi o‘rtacha kvadratik tezligi v ga teng.

4. Sig‘imi 0.5 l bo‘lgan flagada 0.3 l suv bor. Sayyoh lablarini idish bo‘g‘ziga zich qilib, undan suvni shunday ichyaptiki idishga tashqaridan havo kirmayapti. Agar sayyoh idishdagi havo bosimini 80 kPa gacha kamaytirsam u qancha suv icha oladi?

5. 750 mm.sim.ust. ga teng bo‘lgan atmosfera bosimida naychadagi simob sathi idishdagi sathidan 5 sm yuqoriroq edi. Simob ustidagi havo ustunining balandligi 71 sm edi. Agar keyingi kuni naychadagi simob sathi 1 sm ko‘tarilgan bo‘lsa, atmosfera bosimi qancha bo‘lgan? Idishning diametri naychanning diametridan qancha katta?

6. Kompessor har sekundda atmosferadan 3 l havo so‘rib, uni sig‘imi 45 l bo‘lgan ballonga qamaydi. Qancha vaqtda keyin ballondagi bosim atmosfera bosimidan 9 marta ortib ketadi? Ballondagi boshlang‘ich bosim atmosfera bosimiga teng.

7. Hajmi V bo‘lgan idishga porshenli nasos yordamida havo haydab kiritilmoqda. Porshenli nasos silindrning hajmi V₀. Nasos bilan n marta dam urilgandan keyin idishdagi havo bosimi qanday bo‘ladi? Idishdagi havoning dastlabki bosimi tashqi bosim P₀.

8. Gaz bosimi 0.9 MPa ortganda uning hajmi 15 l ga kamaydi, bosim 1.8 MPa ga ortganda esa hajmi 20 l kamaydi. Bosim va hajmning dastlabki qiymatlarini toping.

9. Agar gaz 27°C da 6 l hajmga ega bo'lsa, 77°C da qanday hajmni egallaydi.
10. Gaz temperaturasi 60 K ga ortganda uning hajmi 1 l ga ortdi. Agar temperatura yana 30 K ga ortsa, hajmi dastlabki hajmga qaraganda qanchaga ortadi?

GLOSSARIY

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Ichki kuchlar	Internal force	Vnutrennie silы	sistemani tashkil etuvchi moddiy nuqtalar orasidagi ta'sir etuvchi kuchlar
Tashqi kuchlar	External force	Внешние силы	Системага тааллуқли боълмаган жисмлар томонидан системадаги жисмларга таъсир yetuvchi kuchlar
Massa	Mass	Масса	Jismning inersiya o'lchovidir
Moddiy nuqtalar sistemasining massa markazi	System of a material point of the center of weight	Система материальной точки центра массы	$r_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{m_c}$
Massa markazining tezligi	Speed center of weight	Скорост центр массы	$v_{mm} = \frac{dr_{mm}}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{dr_i}{dt}}{m_c} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i v_i}{m_c}$
Moddiy nuqtalar sistemasining massasi	System of a material point of weight	Система материальной точки массы	S'hu sistemaga kiruvchi barcha moddiy nuqtalar massalarining yig'indisiga teng, ya'ni: $m_c = \sum_{i=1}^n m_i$
Kuchlarta'sirining mustaqillik prinsipi	Principle of independence of interaction of forces.	Принцип независимости взаимодействий сил.	Agarmoddiy nuqtaga bir paytda bir nechta kuch ta'sir etayotgan bo'lsa, unda har birkuchga 'yokib oshqaku ch moddiy nuqtaga ta'sir etmaganid ek, Nyutonning ikkinchi qonunigamu vofiqtezlanish beradi.
Chiziqlitezlik	Peripheralspeed	Линейная скорость	Aylanma tekis harakat qilayotgan jismning vaqt birligida bosib o'tgan yoy uzunligi bilan o'lchanadigan kattalik
Kuchmarkazi	Centerofforce	Сентр силы	Markaziy kuchlarga xos xususiyatlar shundan iboratki, bu kuchlarning barchasi qo'zg'almas markaz (qo'zg'almas nuqta) dan o'tib, bu kuchlarning kattaligi markaz

			bilan moddiy nuqta orasidagi masofaga bog‘liq bo‘ladi.
Aylanishdavri	Periodofrotatsion	Period vrasheniya	Jismning bir marta aylanishiga ketgan vaqt
Birinchikosmik tezlik	Firstcosmic speed	Pervaya kosmicheskaya skorost	Yerning tortish ish kuchiga t‘sirida jismning yer atrofida aylana bo‘ylab harakatlanishiga erishadigan tezlik
Bosim	Pressure	Davlenie	Birlikyuzagata‘sir qiluvchi kuch
Zichlik	Density	Plotnost	Birlik hajmga to‘g‘ri keluvchi massa
Temperatura	Temperature	Temperatura	Moddaning issiqlik holatini harakterlaydigan termodinamik kattalik
Arximedkuchi	Archimedesforce	Sila Arximeda	Suyuqlikka botirilgan jismga shu suyuqlik tomonidan yuqorigayo‘nalgan vajis miqibchi qargansuyuqlik vaznigateng bo‘lgan itaruvchi kuch ta‘sir etadi
Paskal qonuni	Pascallaw	Zakon Paskalya	Harakatsiz suyuqlikning istalgan joyidagi bosim Hammayo‘nalishlardabir xil va harakatsiz suyuqlike gallagan hajm bo‘yicha o‘zgarishsiz uzatiladi.
Qaynash	Boiling	Kipenie	O‘zgarimas temperaturada suyuqlikning ham sirtida ham butun hajmida bug‘ hosil bo‘lishi.
Bug‘	Pair	Par	Moddaning suyuq holatdan gaz holatiga o‘tishi
Laminar oqim	Laminarflow	Laminar noe techenie	Bir-biriga tegib oqayotganda aralashmaydigan qatlamli oqim.
Turbulent oqim	Turbulentflow	Turbulent noe techenie	Tezlik ortganda qatlamlarning tartibsiz ravishda aralashib oqish
Broun harakati	Broun’s movement	Dvijenie Brouna	Suyuqlik yoki gazga aralash tirilgan damu allaqholda qolgan zarralarning to‘xtovsiz va tartibsiz harakati
Garmonik tebranish	Harmonic oscillation	Garmonicheskoe kolebanie	Sinus yoki kosinuslar qonuniga asosan tebranadigan tebranish
Tebranish	Oscillation	Kolebaniya	Har qanday takrorlanuvchi jarayon

Matematik mayatnik	Mathematical pendulum	Matematches kiy mayatnik	Cho‘zilmaydigan og‘irligi hisobga olinmaydigan ipga osilgan sharcha
Rezonans	Resonance	Rezonans	Tashqimajburlovchikuchchastota sijismerkintebanishlarichastotasi gatengkelibqolgandatebranishlar amplitudasiningkeskinortibketishi.
So‘nuvchi tebranishlar	Damped oscillation	Zatuxayunnie kolebaniya	Vaqto‘tishibilanqarshilikkuchlari tufaylienergiyasikamayibboradig antebanishlar
Akustika	Acoustics	Akustika	Tovush hodisalarini o‘rganadigan bo‘lim
To‘lqin uzunligi	Wavelength	Dlina volny	Bir davr ichida to‘lqin bosib o‘tgan masofa
Ko‘ndalang to‘lqin	Transverse wave	Poperechnye volny	Zarralarningtebranishyo‘nalishit o‘lqintarqalishyo‘nalishigamoske lsato‘lqinnibo‘ylamaperpendikul yarbo‘lsako‘ndalangto‘lqindeyiladi.
To‘lqin	Wave	Volna	Tebranishlarning fazoda tarqalishi
Shovqin	Noise	Shum	Tonlarning tartibsiz aralashmasi
Ideal gaz	Ideal gas	Ideal gaz	Molekulalarimoddiynuqta, yanigazxususiyhajmgaegaemasv amolekulalariuzarota‘sirlashmay digangaz
Molekulyar fizika	Molekular Physics	Molekulari al fizika	Har xil agregat holotdagi moddalarning xususiyatini, ular molekulyar tuzilishi asosida tekshiradigan fizikaning bir bo‘limi
Molekula	Molekuis	Molekula	Muayyan moddaning barcha kimyoviy xossalariga ega bo‘lgan va mustaqil ravishda mavjud bo‘la oladigan eng mayda zarra
Diffuziya.	Diffuse	Diffuziya	Bir-biri bilan chegaradan ikki modda molekularining xaotik harakati natijasida asta-sekin o‘zaro aralashib ketish hodisasi
Modda	Matter	Vещество	Molekulalar deb ataluvchi alohida mayda zarrachalardan tuzilgan

Molyar massa	Molar mass	Molyarial massa	Madda miqdoriga mos kelgan massaga miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalik
Modda miqdori	Quantity matter	Kolichestvo veshstvo	Jismdagi atomlar soni N ning 0,012 kg massali uglerodda mavjud bo'lgan atomlar soni N_A ga bo'lgan nisbati $\nu = \frac{N}{N_A}$
Avagadro soni	Avagadro numeral	Chislo Avagadro	Har qanday moddaning bir mol miqdoridagi molekularlar yoki atomlar soni bir xil bo'lgan songa aytiladi $N_A = \frac{\mu_c}{m_{0c}}$
Issiqlik miqdori	Heat quantity	Kolichestvo teploty	Issiqlik mashinuvitufayli jismning ichki energiyasi qancha ga o'zgarishini ko'rsatuvchi kattalik
Absolyut temperatura	Absolute temperature	Absolyut temperatura	Temperaturaning eng quyi chegarasi yoki ideal gazning hajmi nolga teng bo'la oladigan chegaraviy past temperature
Kelvin gradusi	Gradus Kelvina	Gradus Kelvina	Normal sharoitda muzning erish temperaturasi 273,150K bo'lgan absolyut nol bilan muzning erish temperaturasi oralig'ini 273,15 qismi bo'linganda hosil bo'lgan har bir qism
Kaloriya	Calorie	Kaloriya	Issiqlik miqdorini o'lchov birligi
Ichki energiya	Internal energy	Vnutrennyy energiya	Jismni tashkil qilgan barcha molekularlarning kinetic va potensial energiyalarining yig'indisi
Issiqlik sig'imi	Specific heat	Тепловые	Berilgan massali jismni 10C isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga teng bo'lgan fizik kattalik
Yopiq sistema	Slosed system	Zakretyy sistema	Tashqi sharoitlardan izolyatsiyalangan sistema
Termodinamikaning birinchi qonuni	Thermodunamics fist statute	Pervyy zakon Termodinamiki	Sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasining o'zgarishi-ga va sistema tashqi kuchni engish uchun bajargan A ishga sarflanadi

Issiqlik dvigatellari	Heat motors	Тепловые двигатели	Yoqilg'ichkienergiyasini mexani kenergiyaga aylantiruvchi qurilma
Tsikl	Cycle	Sikl	Agar sistema bir necha holatlarda bo'lib, yana boshlang'ich holatiga qaytib kelish jarayoni
Foydali ish ko'effitsiyenti	Koeffitsiyent factor	Koeffitsient poleznogo deystviya	Yoqilg'ich yondiriladigan qurilmaning effektivini harakatlantiruvchi η kattalik
Sirt taranglik kuchi	Outer tight strength	Поверхностная сила натяжения	Suyuqlik sirtini qisqarishiga sabab bo'luvchi kuch $F = \sigma \cdot \ell$
Sirt taranglik ko'effitsiyenti	Coefficient outer	Koeffitsient poveryxnostnoy sila natyazheniya	Suyuqlik kerkin sirtini chegaralovchi konturning uzunlik birligiga σ nisbatida bo'lib, uning kuchgamiqdorjihatidagi tengbo'lgan kattalik $\sigma = \frac{F}{\ell}$
Temperatura	Temperature	температура	Jismni isiganlik darajasini harakterlovchi fizik kattalik
Termometr	Thermometr	термометр	Jismni isiganlik darajasini o'lchovchi kattalik
Kapilyarlar		Капиллярный	Ichki diametric undagi suyuqlik meniskning egrilik radiusi bilan taqqoslansa bo'ladigan naychalarga aytiladi. Lotincha "kapilyars"-soch ma'nosini bildiradi
Kapilyar hodisa		Капиллярности явление	Suyuqlikning ingichka naychalarda ko'tarilish yoki pastga tushishi
I tur fazaviy o'tish		Фазовый переход первого типа	I - tur fazaviy o'tish (misol uchun, erish, kristallanish va xakozo) fazaviy o'tish issiqligi deb ataluvchi ma'lum issiqlik miqdorini yutish yoki chiqarish bilan sodir bo'ladi.
II tur fazaviy o'tish		Фазовый переход второго типа	Issiqlik yutish yoki ajralishi, xajmning o'zgarishi bilan bog'liq bo'lmagan o'tishlar.

MUNDARIJA

KIRISH		3
	MA'RUZA MASHG'ULOTLARI	
I BOB.	MOLEKULAR KINETIK NAZARIYANING ASOSIY QOIDALARI VA MODDA TUZILISHI	
1.1. §	Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qoidalari. Modda tuzilishi. Modda tuzilishi. Atom va molekulalar va ularning o'Ichamlari. Diffuziya. Broun xarakati. Molekulyar o'zaro ta'sir kuchlari. Termodinamik tizim va uning tavsifi. Temperatura.	4
1.2. §	Gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasi. Ideal gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasi. Ideal gaz qonunlari. Ideal gaz holat tenglamasi. Mendeleyev-Kleyperon tenglamasi. Izojarayonlar.	8
II BOB.	MOLEKULALARNING TEZLIKLARI TAQSIMOTI VA BOLTSMAN TAQSIMOTI. IDEAL GAZLARNING ICHKI ENERGIYASI VA ISSIQLIK SIG'IMI	
2.1. §	Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni. Molekulalarning tezliklari bo'yicha Maksvell taqsimoti. Shtern tajribasi. Barometrik formula. Bolstman taqsimoti. Molekulalarning o'rtacha yugurish yo'li.	14
2.2. §	Ideal gaz ichki energiyasi. Issiqlik miqdori. Issiqlikning mexanik ekvivalenti. Ideal gazning issiqlik sig'imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi. Gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi. va molekulalarning erkinlik darajasi.	22
III BOB.	TERMODINAMIKANING ASOSIY QONUNLARI. ISSIQLIK MASHINALARI VA ENTROPIYA.	
3.1. §	Termodinamikaning birinchi qonuni. Ideal gazning bajargan ishi. Izotermik, izobarik va adiabatik jarayonlarda bajarilgan ish. Politropik jarayon.	26
3.2. §	Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Termodinamikaning ikkinchi qonunini ta'riflari. Qaytar va qaytmas jarayonlar. Issiqlikni ishga aylantirish	33
3.3. §	Issiqlik mashinalari. Karno Sikli. Entropiya. Termodinamikaning ikkinchi qonunining statistik ma'nosi.	35
3.4. §	Gazlarda ko'chish hodisasi. Gazlarning diffuziyasi. Gazlarda ichki ishqalanish. Gazlarning qovushqoqligi. Ideal gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi.	41
IV BOB.	REAL GAZLAR VA ULARNING XOSSALARI	
4.1. §	Real gazlar. Molekulalararo o'zaro ta'sir. Real gazlar. Van-der-Vaals tenglamasi. Van-der-Vaals va Endryus izotermalari	49
4.2. §	Real gazning ichki energiyasi. Djoulya-Tomson effekti. Gazlarni suyultirish. Sovutgichlar va issiqlik nasoslari	56

V BOB.	MODDANING AGREGAT HOLATLARI. SUYUQLIKLARNING UMUMIY XOSSALARI. QATTIQ JISMLARNING TUZILISHI VA XOSSALARI.	
5.1. §	Moddaning suyuq holati. Suyuqliklarning umumiy xossalari, 62 Suyuqlik sirtining xossalari. Suyuqliklarning sirt tarangligi. Sirt taranglik kuchi. Sirt energiyasi. Ho'llash. Kapillyar hodisalar.	
5.2. §	Moddaning agregat holati. Moddaning agregat holati. Plazma. 71 Erish va qotish (kristallanish). Bug'lanish va kondensatsiya. Sublimatsiya. Qaynash. Havoning namligi	
5.3. §	Qattiq jism. Kristallik va amorf jismlar. Kristallar 74 anizotropiyasi. Kristall panjara. Polikristall va monokristallar. Kristall defektlari. Kristallarda dislokatsiya. Qattiq jismlarning mexanik xossalari Elastik deformatsiya.	
5.4. §	Qattiq jismlarning issiqlik xossalari. Qattiq jismlarning 80 issiqlikdan kengayishi. Suvning issiqlikdan kenayishining xususiyatlari. Qattiq holatga o'tish. Uchlanma nuqta. Birinchi tartibli fazoviy o'tishlar.	
VI BOB.	VAKUUM FIZIKASI VA PAST BOSIMDAGI HODISALAR	
6.1. §	Kuchli siyraklashgan gazlar. Vakuumni hosil qilish va uni 84 o'lchash. Past bosimda gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi. Vakuumning fan va texnikada ahamiyati	
	AMALIY MASHG'ULOTLAR	
VII BOB.	MOLEKULAR KINETIK NAZARIYANING ASOSIY QOIDALARI VA MODDA TUZILISHIGA DOIR MASALALAR YECHISH	
7.1. §	Molekulyar kinetik nazariya mavzusiga doir masalalar yechish	92
7.2. §	Ideal gaz qonunlari mavzusiga doir masalalar yechish	96
VIII BOB.	MOLEKULALARNING TEZLIKLARI TAQSIMOTI VA BOLTSMAN TAQSIMOTI. IDEAL GAZLARNING ICHKI ENERGIYASI VA ISSIQLIK SIG'IMIGA DOIR MASALALAR YECHISH.	
8.1. §	Molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni 101 mavzusiga doir masalalar yechish	
8.2. §	Bolsman taqsimoti va molekulalarning tezligini o'lchash 104 mavzusiga doir masalalar yechish	
8.3. §	Ideal gazning ichki energiyasi mavzusiga doir masalalar 107 yechish	
8.4. §	Issiqlik miqdori va issiqlik balansiga mavzusiga doir 109 masalalar yechish	
IX BOB.	TERMODINAMIKANING ASOSIY QONUNLARI. ISSIQLIK MASHINALARI VA ENTROPIYAGA DOIR MASALALAR YECHISH.	
9.1. §	Termodinamikaning 1-qonuni mavzusiga doir masalalar 113 yechish	

9.2. §	Termodinamikaning 2-qonuni mavzusiga doir masalalar yechish	117
9.3. §	Issiqlik mashinalari va Karno sikli mavzusiga doir masalalar yechish	119
9.4. §	Gazlarda ko'chish hodisasi mavzusiga doir masalalar yechish	124
9.5. §	Gazlarda ichki ishqalanish mavzusiga doir masalalar yechish	126
9.6. §	Gazlarda issiqlik o'tkazuvchanlik mavzusiga doir masalalar yechish	126
X BOB.	REAL GAZLAR VA ULARNING XOSSALARIGA DOIR MASALALAR YECHISH	
10.1. §	Real gazlar mavzusiga doir masalalar yechish	131
10.2. §	Real gazlar ichki energiyasi mavzusiga doir masalalar yechish	135
XI BOB.	MODDANING AGREGAT HOLATLARI. SUYUQLIKLARNING UMUMIY XOSSALARI. QATTIQ JISMLARNING TUZILISHI VA XOSSALARIGA DOIR MASALALAR YECHISH.	
11.1. §	Moddaning suyuq holati mavzusiga doir masalalar yechish	138
11.2. §	Ho'llash va kapillyar hodisalar mavzusiga doir masalalar yechish	140
11.3. §	Moddaning agregat holati mavzusiga doir masalalar yechish	142
11.4. §	Bug'lanish, qaynash va havoning nisbiy namligi mavzusiga doir masalalar yechish	144
11.5. §	Qattiq jism mavzusiga doir masalalar yechish	147
11.6. §	Qattiq jismning mexanik xossalari doir masalalar yechish	150
11.7. §	Qattiq jismning issiqlik xossalari mavzusiga doir masalalar yechish	152
11.8. §	Qattiq jismning issiqlik o'tkazuvchanligi mavzusiga doir masalalar yechish	154
XII BOB	VAKUUM FIZIKASI VA PAST BOSIMDAGI HODISALARGA DOIR MASALALAR YECHISH.	
12.1 §	Past bosimlarni hosil qilish va o'lchash, mavzusiga doir masalalar yechish	157
12.2. §	Molekulyar kinetik nazariya mavzusiga doir masalalar yechish	159
GLOSSARIY		163
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR		