

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

2021

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA KAFEDRASI



Уравнение Менделеева – Клапейрона

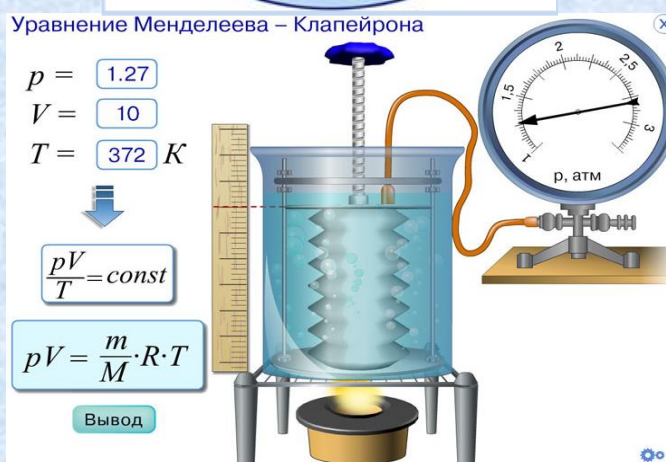
$$p = 1.27$$
$$V = 10$$
$$T = 372 \text{ K}$$



$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

$$pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Вывод



MOLEKULYAR FIZIKA

Bilim sohasi: 500000 – Tabiiy fanlar, matematik statistika
Ta'lim sohasi: 530000 – Fizikaga oid fanlar
Ta'lim yo`nalishi: 6053900 – Fizika

Guliston-2021

O'QUV-USLUBIY MAJMUUA

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Guliston davlat universiteti Kengashining 2021 yil “___” avgustdagi ___-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va fanining o‘quv dasturi asosida tayyorlandi.

Tuzuvchilar: Fizika kafedrası p.f.b.f.d., (PhD)
Boymirov Sh.T.

Taqrizchi: Fizika kafedrası f-m.f.n., dotsent,
Elmurotov R.

Ushbu o‘quv-uslubiy majmua Guliston davlat universiteti Kengashida ko‘rib chiqilgan va tasdiqlangan (2020 yil “___” _____ dagi ___-sonli bayonnoma).

MUNDARIJA

	Soʻz boshi.....	5
I	OʻQUV MATERIALLAR.....	6
1.1	Maʼruza uchun materiallar.....	6
1.2	Amaliy mashgʻulotlar uchun materiallar.....	123
1.3	Tajriba mashgʻulotlari uchun materiallar.....	143
II	MUSTAQIL TAʼLIM.....	152
III	GLOSSARIY.....	153
IV	ILOVALAR.....	157
4.1	Fan dasturi.....	158
4.2	Ishchi-oʻquv dasturi.....	166
4.3	Tarqatma materiallar.....	183
4.4	Testlar.....	192
4.5	Nazorat savollari.....	201
4.6	Talabalar bilimini baholash mezonlari.....	208
4.7	Adabiyotlar roʻyxati.....	212

SO‘Z BOSHI

Fizikaning asosiy qonun va hodisalarini bilmay turib, amaliy va maxsus kurslarni o‘rganishga kirishib bo‘lmaydi. Umumiy fizikaning bir bo‘limi sifatida «Molekulyar fizika» fanini o‘qitishdan asosiy maqsad, bo‘lajak mutaxassislar-injener va fizik-texnolog kadrlarda kuzatishlar, amaliy tekshirish va tajribalarni umumlashtirish asosida fizikaviy nazariya to‘g‘risida dastlabki tushunchalar hosil qilish, ularda o‘zlarining tanlagan tor mutaxassislik sohalari bo‘yicha muvoffiqiyatli bilim olishlarini ta‘minlash uchun poydevor yaratishdan iboratdir. Molekulyar fizika fani turli agregat xolatdagi makroskopik tizimlar tarkibiga kiruvchi ulkan sondagi zarrachalarning (molekulalar, atomlarning) o‘zaro ta‘siri va kollektiv harakati bilan bog‘liq bo‘lgan hodisalarni o‘rganadi. Moddalar tuzilishini o‘rganishga birinchi qadam qo‘yiladi. Molekulyar fizika erishgan yutuqlar fan va texnikaning turli sohalorida, masalan, atmosferada yuz beradigan hodisalarni tushuntirishda va o‘rganishda, gazlarda yuz beradigan razryad bilan bog‘liq jarayonlarni yoritishda, vakuum va kriogen texnikasi bilan bog‘liq sohalarda, biologiyada tirik organizmlardagi osmos va kapillyarlik bilan bog‘liq bo‘lgan jarayonlarni o‘rganishda, turli parametrga ega bo‘lgan aralashmalar va qotishmalar olishda, termodinamikada, kimyoda (gaz qonunlari), statistik xarakterga ega bo‘lgan jarayonlarni tahlil qilishda va boshqa ko‘pgina sohalarda ishlatilishi mumkin.

Ushbu fanni o‘rgatishda tanlab olingan mavzularning hajmi, saviyasi va mavzularni yoritib berishda qo‘llaniladigan usullar va matematik apparat talabalarga ularning keyingi pog‘onadagi o‘quv faoliyatini muvaffaqiyatli olib borish uchun etarli bo‘lishini ta‘minlash kerak.

Molekulyar fizikani o‘rganish uchun kerak bo‘lgan fanlar «Matematik tahlil», «Ehtimollar nazariyasi» va «Mexanika» dir. Talabalarning «Molekulyar fizika» fanidan olgan bilimlari ularga bir qator nazariy va maxsus kurslarni o‘rganishlarida kerak bo‘ladi. Masalan, bu fandan olingan bilimlar va ko‘nikmalar fizika fanining boshqa bir qator kurslarni o‘rganishga asos bo‘lib xizmat qiladi. Molekulyar fizika erishgan yutuqlar fan va texnikaning turli sohalorida, masalan, atmosferada yuz beradigan hodisalarni tushuntirishda va o‘rganishda, gazlarda yuz beradigan razryad bilan bog‘liq sohalarda, biologiyada tirik organnizmlardagi osmos va kapillyarlik bilan bog‘liq bo‘lgan jarayonlarni o‘rganishda, turli parametrga ega bo‘lgan aralashmalar va qotishmalar olishda termodinamikada, kimyoda (gaz qonunlari), statistik xarakterga ega bo‘lgan jarayonlarni tahlil qilishda va boshqa ko‘pgina sohalarda ishlatilib, yuqori malakali fizik mutaxassislar tayyorlash tizimining ajralmas bo‘g‘ini hisoblanadi.

Fan zamonaviy pedagogik texnologiyaning “Aqliy hujumlar”, “Tanqidiy tafakkur”, “Fikrlay olasanmi?”, “Bumerang”singari metodlari orqali hamda slaydlar, multimedia namoyishlari, umumiy fizika bo‘limlari bo‘yicha diafil’mlar, mavzular bo‘yicha animatsion harakatlar, ko‘rgazmali rangli fotosuratlar, kinofilmlardan foydalanish orqali o‘qitiladi.

II. O‘QUV MATERIALLAR

1.1. Ma’ruza uchun materiallar

1-MA’RUZA. KIRISH. MOLEKULAR FIZIKA FANI. FANNING MAQSADI. FANNING VAZIFASI. MOLEKULAR KINETIK NAZARIYA ASOSLARI. ATOM, MOLEKULA VA ULARNING XOSSALARI TO‘G‘RISIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR.

Molekular fizikaga kirish. Modda haqidagi molekular – kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzilishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari.

REJA:

1. *Modda haqida molekular tasavvurlar.*
2. *Molekula va atomlar ulchamlari*
3. *Broun harakati.*

Tayanch tushunchalar: molekula, issiqlik, molekulyar-kinetik nazariya, statisti metod, termodinamik metod.

Moddaning tuzilishi va holatini o‘rganish – molekular fizikaning asosiy vazifasidir. Mexanikani o‘rganayotganda moddaning tuzilishiga etibor berilmaydi, chunki jismlarning harakatini o‘rganishda bu muhim emas. Molekular fizika bo‘limi moddaning tuzilishi va holatiga asoslanib, fizik hodisalar va jarayonlarni o‘rganadi.

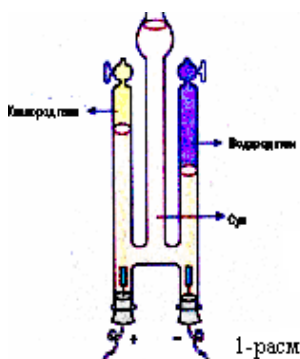
Atrofimazdagi jismlar o‘zining shaklini saqlash qobiliyati, harorati, issiqlik sig‘imi, siqiluvchanligi, rangi va boshqa ko‘plab xossalari bilan bir-biridan farqlanadi. Umumiy fizika kursining molekular fizika bo‘limida moddaning juda kichik zarralardan iboratligi (atomlardan, molekulalardan), bu zarralar betinim tartibsiz issiqlik harakatida bo‘lishi va o‘zaro ta’sirlashuvi bilan bog‘liq masalalar ko‘riladi.

Modda haqida molekular tasavvurlar. Moddaning juda mayda zarralardan iboratligini tasdiqlovchi ko‘plab ma’lumotlar, dalillar mavjud. Gazni chegaralab turuvchi devor uzoqlashtirilsa – gaz zarralari harakatini davom ettirib, ixtiyoriy katta hajmni to‘ldirishi mumkin. Gazlarni bir-biriga yaxshi aralashishi, havoda hidlarni yaxshi tarqalishi (diffuziya hodisasi) gaz zarralari tinimsiz va tartibsiz harakatda degan hulosaga keltiradi. Moddalarning bir-biriga aralashish hodisasi suyuqlik, hattoki qattiq jismlarda ham aniqlangan, lekin gazlarda diffuziya ayniqsa intensiv ro‘y beradi, qattiq jismlardagidan $\approx 10^{10}$ marotaba tezroq ro‘y beradi.

Moddalarning kichik zarralari atomlar deb ataladi. Ularning 110 ga yaqin turlari Mendileev jadvaliga kiritilgan. Tabiatda ko‘pincha atomlar bir-biri bilan kimyoviy bog‘lanib, molekulalarni tashkil etadi. Moddani atom va molekulalardan tuzilishi haqidagi tasavvurlarni ilmiy asoslanishida **butun sonlar** qonunini ochilishi muhim qadam bo‘lgan. 1-rasmda elektroliz bo‘yicha tajribalarni amalga oshirish qurilmasi keltirilgan. Eritmalarni elektrolizi paytida gazsimon moddalar ajralib chiqadigan hollarda bu qurilma ayniqsa qulaydir. Unda, masalan, 1 kub santimetr gaz hajmini yetarlicha aniq o‘lchash mumkin, voholangki bunday miqdor bir mol moddaning 0.005% ni tashkil etadi. Muhimi, tajribada ikki hil gaz ajralib chiqsa, ularni hajmlari butun sonlardek nisbatda bo‘ladi. Masalan toza suvni elektroliz qilinsa, vodorod va kislorod gazlari ajralib chiqqanini aniqlash mumkin, va ajralib chiqadigan vodorod hajmi kislorod hajmidan ikki marta ortiq bo‘ladi. Demak bitta tajriba suvning kimyoviy tarkibini aniqlash imkonini berar ekan.

Fan rivojlanishi natijasida atomlarning ham murakkab tuzilishi aniqlangan, lekin buni fizikani boshqa bo‘limlarida o‘rganiladi.

Broun harakati. Modda tuzilishi haqidagi atomistik (bo‘linmas mayda zarralar)



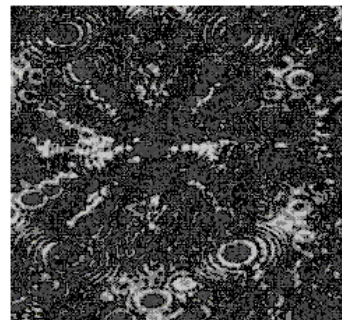
tasavvurlar qadimgi yunon faylasuflari Aristotel (Aflatun) va Demokrit asarlarida ham uchraydi. Lekin moddaning molekular tuzilishi haqidagi ilmiy asoslangan tasavvurlar Broun harakatini ochilishi va tushuntirilishi bilan bog'liq. Moddaning eng kichik zarralari – molekula va atomlar benihoya kichikligi tufayli kuzatilishi qiyin. 1827 yilda ingliz botanigi R.Broun suvdagi gul changlarini mikroskop yordamida kuzatgan. Bu zarralarning o'lchami 10^{-6} metr ga yaqin bo'lib, molekulalardan deyarli 10 ming marotaba kattadir. Bu kuzatuvlarda zarralarning betinim va tartibsiz harakati aniqlandi. Broun harakati havodagi tutun zarralarida ham kuzatiladi. Kuzatuvchi nazarida tabiat tirilgandek bo'ldi. Bu kuzatuvlarni texnika yordamida yozib olish imkoniyatiga ega bo'lmagan olim, kuzatuv natijalarini ilmiy ravishda yozib olib boshladi: bitta zarraning holatini (koordinatalarini) bir xil vaqt oraliqlarida katakli qog'ozga chiza boshladi.

2-rasmda suvdagi uchta zarrani Broun harakati tasvirlangan (Perron tajribasi). Nuqtalar har 30 sekundda chizilgan. Zarralar o'lchami $0.52 \cdot 10^{-6}$ m, kataklarni o'lchami $-3.4 \cdot 10^{-6}$ m.

Tajribada butunlay tartibsiz siniq chiziqlardan iborat tasvir paydo bo'ldi. Bunday murakkab va betartib chiziqlarda biron ma'lumot topish qiyindek tuyuladi. Lekin olimni izlanuvchanligi, ko'plab kuzatuvlari quyidagi hulosalarga olib keldi: bir zarracha uchun bu harakat intensivligi vaqt o'tishi bilan o'zgaras ekan (1); temperaturaning oshishi (2), zarra o'lchamlarining kichikroq bo'lishi (3), qovushqoqligi kichikroq suyuqlikdagi harakatni kuzatilishi (4) harakat intensivligini oshishiga olib kelar ekan.

Broun harakatini tushuntirishda dastlab bu harakat biologik xarakterda emasligi aniqlandi, chunki havodagi tutun (chang) zarralari ham huddi shunday harakatlanar ekan. Broun harakatini suyuqlik yoki gazdagi konvektiv oqimlar bilan ham tushuntirib bo'lmaydi.

Yuqorida aytilganidek, kuzatilayotgan zarra o'lchamlarining oshishi, Broun harakatining sekinlashishiga olib keladi, va makroskopik jismlar uchun Broun harakati kuzatilmaydi. Kuzatilayotgan zarraning juda kichkina bo'lishi suyuqlik (yoki gaz) zarralari – molekularining betinim va tartibsiz harakatining (**issiqlik harakatining**) sezilishiga imkoniyat beradi. Molekulalarning harakati betartib bo'lgani uchun, ularning kuzatilayotgan zarraga ta'siri, zarbasi bir tekis bo'lmaydi. Suyuqlik (gaz) zichligi va bosimidagi bunday notekisliklar ilmiy tilda **fluktuatsiyalar** deb ataladi. Suyuqlik (gaz) molekularining tartibsiz harakati tufayli bu fluktuatsiyalarning yo'qolishini **relaksatsiya** hodisasi deyiladi. Broun harakati kuzatilishi – ana shu fluktuatsiyalarning namoyon bo'lishidir.



3-rasm

Broun harakatining kuzatilishi bu tasavvurlarni paydo bo'lishiga olib kelgan bo'lsa ham, fluktuatsiyalarning ilmiy tahlili, nazariyasi A.Eynshteyn va M.Smoluxovskiylar tomonidan 1905-1906 yilda kashf etildi. Unga ko'ra, Broun harakatidagi zarraning o'rtacha kvadratik siljishi vaqt va diffuziya koeffitsientiga proporsionaldir:

$$\overline{\Delta x^2} = 2D\tau \quad (1)$$

Diffuziya koeffitsienti temperaturaga proporsional, zarra o'lchamlari va suyuqlik (gaz) qovushqoqligiga teskari proporsionaldir ($D \approx kT / 6\pi\eta a$, 29§ ga qarang). Bu bog'lanishda Boltsman doimiyi k ishtiroki tajriba natijalariga ko'ra uning qiymatini aniqlash imkoniyatini beradi, $kN_A = R$ munosabat orqali esa - N_A Avagadro sonini topish mumkin.

Broun harakatini molekularning issiqlik harakatini modeli sifatida ko'rish mumkin.

Eynshteyn va Smoluxovskiy nazariyalarini amalda tekshirishga bag'ishlangan tajribalar (1927) frantsuz fizigi J.Perren va shved fizigi T.Svedberglar tomonidan amalga oshirildi. Tajribalar Boltsman doimiyi va Avagadro sonini qiymatlarini aniqlash uchun molekular-kinetik asos bo'ldi.

Yuqoridagi formulalarga ko'ra zarracha o'lchami a qanchalik kichik bo'lsa uning Broun harakatining intensivligi shunchalik kuchliroq bo'ladi. Zarracha o'lchami 10000 marta kichraysa uning harakat intensivligi Eynshteyn nazariyasiga ko'ra 10000 marotaba ortishi kerak. Eynshteyn nazariyasini bunday hollar uchun ishlatish o'rinli bo'lmasa ham, bu mulohazalar Broun harakatiga qarab moddaning zarralari – molekularning harakati haqida tasavvur xosil qilish mumkinligini ko'rsatmoqda. Fanning rivojlanishi natijasida gazlarning zarralari betinim

issiqlik harakatida bo'lishi haqida tasavvurlar tasdiqlandi. Bu harakatning o'rtacha tezligi va zarralarning tezliklar bo'yicha taqsimoti Broun harakatidagidek temperatura bilan aniqlanar ekan.

Hozirgi zamonga kelib, moddaning molekular tuzilishi shubhadan holidir. Siz har-bir modda o'lchamlari 10^{-10} metr tartibida bo'lgan atomlardan tuzilishini, atomlar esa turli molekularlarga birlashgan bo'lishini bilasiz. Elektron va ion mikroskoplar, yadro – magnit rezonans usuli va boshqa imkoniyatlar yordamida olimlar nafaqat ayrim molekularlar, hattoki millionlab atomlardan tuzilgan ulkan DNK molekularidagi ayrim atomlarni aniqlab, inson genomini ochishmoqda. Misol ta'rifasida bu yerda (2-rasm) volfram ignasini uchini geliy ionli proektor yordamida million marotaba kattalashtirib olingan tasviri keltirilmogda. Rasmda kristalni o'sish jarayonida xosil bo'lgan atom qatlamlarini spiralsimon pog'onalarini ko'rish mumkin, **ayrim atomlar** bu spiral chiziqlarida yorqin nuqtalar xosil qilgan.

Broun harakati – moddaning molekular tuzilishi haqidagi va bu molekularlarning betinim issiqlik harakati haqidagi molekular – kinetik tasavvurlarni dastlabki yaqqol eksperimental namoyon bo'lishidir. Broun harakatining ochilishi fanning rivojlanishidagi tarixiy ahamiyatidan tashqari, amaliy ahamiyatga ham ega. Jumladan nozik zamonaviy asboblarni yaratganda, o'lchov asboblarning sezgirligi Broun harakati bilan cheklanishini hisobga olinishi kerak.

Ma'lumki gaz muvozanatda bo'lishi uchun uning barcha qismlarida bosim bir xil bo'lishi kerak (aks xolda gaz harakatga kelib bosimning tenglashishiga va muvozanat o'rnatilishiga olib keladi). SHunga o'xshash, gaz va boshqa ixtiyoriy sistemaning muvozanati uchun uning turli qismlarida temperatura ham bir xil bo'lishi zarur, ya'ni temperatura termodinamik sistemalarning muvozanatini xarakterlovchi muhim xarakteristikadir. Sistemaning qismlarida temperaturaning turlicha bo'lishi issiqlik almashinuvi, konveksion harakat kabi jarayonlar sodir bo'lishiga olib keladi.

“Issiq”, “sovuq” degan tushunchalar juda qadimgi tushunchalardir. Suyuqlik va gazlarni kengayish qonunlarini o'rganilishi birinchi termometrlarni yaratilishiga, temperaturani sonli tasniflashga asos bo'ldi, bu esa fanning rivojlanishida muhim qadam edi. U paytlarda temperaturaning fizik ma'nosi ma'lum bo'lmagani uchun, temperaturani o'lchov birligi boshqa fizik birliklar bilan yetarli bog'lanmagan edi. SHuning uchun birin - ketin Reomyur, Ferengeyt, TSelsiy shkalalari paydo bo'ldi. Temperaturani hayotiy kuzatuvlariga asoslangan temperatura o'lchovlarini **empirik temperatura** deb ataymiz. Jumladan Selsiy shkalasida normal bosimda suvni muzlash temperaturasi 0^0 , qaynash temperaturasi 100^0 deb qabul qilingan. Natijada ayrim sovuq holatlarda temperatura manfiy son bilan ifodalangan. Vaholanki bu temperaturaning ishorasini o'zgarishi faqat suv uchun muhim o'zgarish ro'y beradigan sharoit bo'lib, boshqa borliq uchun biron muhim o'zgarishga olib kelmaydi. Boshqa shkalalarda esa suvning muzlash va qaynash temperaturalarida ishora umuman o'zgar olmaydi.

Issiqlik miqdori dastlabki paytlarda mexanik energiya birligi bilan bog'lanmagan **kaloriya** birligi bilan o'lchangan. Mexanik energiya va issiqlikni ekvivalentligi aniqlanishi ularni bir xil birliklarda o'lchanishiga ilmiy asos bo'ldi, yana muhim tomoni, issiqlik - moddadagi ichki (issiqlik) harakatning o'lchovi ekanligini ko'rsatdi. SHunga mos ravishda temperaturani o'lchashda ham o'zgarish bo'lishi kerak edi. Gaz qonunlarini o'rganilishi, Gey – Lyussak va Sharl qonunlari **absolyut temperatura** tushunchasi va temperaturani Kelvin shkalasini kiritilishiga olib keldi. Temperaturani Kelvin birligi TSelsiy birligi bilan bog'liq ravishda kiritilgan: $1K = 1^0C$, lekin o'lchov shkalasi siljigan bo'lib, TSelsiy shkalasining 0^0 Kelvin shkalasida $273.15K$ ga tengdir. Klassik tasavvurlarga binoan $0K$ – eng past temperatura bo'lib, manfiy temperaturalar tabiatda umuman kuzatilishi mumkin emas.

Temperatura tushunchasi hozirgi davrda ham murakkabligicha qolmoqda. Tabiatdagi turli jarayonlarni temperaturaviy diapazoni nihoyatda kengdir, fizikada $10^{-4}K$ dan 10^7K va undan yuqori haroratlarni o'rganish masalalari qo'yiladi. Temperatura moddaning turli xossalari ko'ra o'lchanadi, va ularni bir-biri bilan solishtirish har gal ilmiy muhokamani talab qiladigan murakkab masala bo'lib qolaveradi.

Molekular fizika fizikaning barcha bolimlari bilan ozaro bogliq, hamda oliy matematikaning differentsial va integral hisobi, analitik geometriya, gruppalar nazariyasi, tenzorlar, kompleks ozgaruvchanlarning funktsional nazariyasi, ehtimollar nazariyasi, matematik

statistika, axborot texnologiyalari asoslari va informatika kabi fanlardan yetarli bilim va konikmalarga ega boliligi talab etiladi. nazariy fizika astronomiya va astrofizika, tabiiy-ilmiy va boshqa fanlar bilan uzviy boglangan.

2-MA'RUZA. MODDA MIQDORI MOLEKULALARARO TA'SIR KUCHLARI. MODDANING AGREGAT HOLATLARI.

Reja:

1. Modda miqdori
2. Molekulyar fizika bo'limini o'qitishning maqsadi va asosiy vazifalari.
3. Molekulyar-kinetik nazariyaning fundamental asoslari.
4. Modda tuzilishini o'rganishning ikki usuli.

Tayanch tushunchalar: molekula, issiqlik, molekulyar-kinetik nazariya, statisti metod, termodinamik metod.

Kirish. Issiqlik harakati

1. Biz fizika fanining alohida bo'limi – *molekulyar fizikani* o'rganishga kirishimiz, bunda jismlarning agregat holatlari va hossalari ularning tuzilishiga, jismlarni tashkil qilgan zarralar orasidagi o'zaro ta'sirga va zarralarning harakat xarakteriga bog'lanishi qarab chiqiladi.

Hamma jismlar uzluksiz xaotik issiqlik harakatda bo'lgan atom, molekula yoki ionlardan tashkil topganligi bundan ancha oldin isbotlangan. Bunday tasavvurlarga asoslangan moddaning tuzilish nazariyasi molekulyar-kinetik nazariya deyiladi. Uning asoslari XVIII-asrning 40-yillarida M.V. Lomonosov tomonidan yaratilgan edi. U bu nazariyaning dastlabki qonun-qoidalarini shakllantirdi va uni turli hodisalarni tushuntirishga tadbiq etdi. Lomonosov barcha moddalar qandaydir miqdordagi "elementlarni" o'z ichiga olgan "korpuskulalardan" tashkil topgan deb hisobladi. Yuz yil o'tgandan keyin bu atamalarni molekula va atom deb tushunish kerakligi ma'lum bo'ldi. Mana, misol uchun Lomonosov, R.Boyl (1611) va undan mustaqil holda E.Mariott kashf etgan Boylp-Mariott qonunining to'g'riligini shunday isbotlaydi. Soddalik uchun, aytaylik, gaz tomonlari a , hajmi $V=a^3$ bo'lgan kub shaklidagi* idishda joylashgan va gaz zarralari idish devorlariga tik holda harakatlanayotgan bo'lsin. Lomonosov gaz bosimi, uning zarralarini idish devorlariga urilishlari natijasi deb hisobladi. Agar kubning tomonlari ikki marta kichiklashsa, demak, mos holda idish hajmi $V_1 = a^3/8=V/8$ bo'lib qolsa, bosim qanday o'zgaradi? Ma'lum bo'lishicha, u sakkiz marta ortishi kerak: ikki marta –har bir zarracha bosib o'tadigan idish devorlari orasidagi masofa ikki marta qisqargani uchun va to'rt marta – idish devorlarining yuzasi to'rt marta kamayishi hisobiga. Shunday qilib, gazning yangi bosimi $p_1 = 8p$ bo'ladi. Demak, $pV = p_1V_1$. Bu Boyl-Mariott qonunining o'zidir.

O'tgan yuz yillikning ikkinchi yarmida modda tuzilishi va xossalari molekulyar-kinetik nazariyasi ko'p mashhur fiziklar (J.Joul, R.Klauzius, J.K. Maksvell, L.Bolsman va boshqalar)ning ishlarida har tomonlama rivojlantirildi va fizika, ximiyaning ko'p sohalariga tadbiq etildi. Molekulyar-kinetik nazariya to'g'riligining ekspremental sinovi Broun harakati, diffuziya jarayoni, issiqlik o'tkazuvchanlik va boshqa hodisalarni tushuntirib berilishi bo'ldi.

2. Molekulyar-kinetik nazariyaning fizika taraqqiyotidagi beqiyos roli shundan iboratki, u jismlardagi molekulalarning harakat xarakteri bilan u yoki bu yo'sinda bog'liq bo'lgan fizik hodisalarni o'rganishga yagona yondoshish imkonini berdi. Turli agregat holatlardagi jismlarning ko'p xossalari gazlar, suyuqlar va qattiq jismlardagi atom va molekulalar harakat xarakteridagi tafovut bilan tushuntiriladi. O'z navbatida, moddaning uch xil agregat holatlarida issiqlik harakatining xususiyatlari, molekulalar orasida o'zaro tortishish va itarish kuchlari ta'sir etishi bilan bog'liqdir. Molekulalar orasidagi o'rtacha masofa qancha kichik bo'lsa, bu kuchlar shuncha yuqori darajada o'zini ko'rsatadi.

* Lomonosov sferik shaklidagi idishdagi gazni olib tekshirgan.

Uncha ko'p siqilmagan gaz molekulari orasidagi o'rtacha masofa shunchalik kattaki, molekulararo o'zaro ta'sir kuchlari molekularning harakatiga deyarli ta'sir qilmaydi. Shuning uchun etarli darajada aniq bilan hisoblash mumkinki, molekular bir-biri bilan o'zaro to'qnashguncha yoki gaz joylashgan idish devorlariga urilguncha to'g'ri chiziqli tekis harakat qiladilar.

3. Kristall holatdagi qattiq jismlarda zarrachalar (atomlar, molekular yoki ionlar) orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari juda katta. Qattiq jism zarralari orasida tortishish va itarish kuchlarining bir vaqtda ta'sir etishi shunga olib keladiki, bu zarralar bir-biridan katta masofaga uzoqlasha olmaydilar. Ular *kristall panjara tugunlari* deb ataluvchi biror o'rtacha muvozanat vaziyatlar atrofida tebranishlar sodir qiladilar.

4. Suyuqlik molekularining issiqlik harakati yuqorida ko'rib o'tilgan ikki harakat turlarining o'rtasidagi oraliq xarakterga ega bo'ladi. Unda qattiq jismlar va gazlar zarralarining issiqlik harakatiga xos tomonlar ham kuzatiladi. Molekula qandaydir vaqt biror muvozanat vaziyati atrofida tebranadi va "o'troq" holatda bo'ladi, dam-badam molekula o'lchamiga yaqin masofaga siljiydi. Shunday qilib, molekula bir "o'troq" holatda bo'lgandan keyin, boshqa o'troq holatga ko'chadi. Bundan ko'rinagiki, suyuqlik molekulari ham tebranadilar, ham idish hajmi bo'ylab asta-sekin ko'chadilar.

Tadqiqotning statistik va termodinamik usullari

1. Har qanday jismda atomlar (yoki molekular) soni beqiyos ko'p. Masalan, odatdagi bosim va temperaturalarda 1m^3 gazda 10^{25} tartibda molekula, suyuq va qattiq jismlarda 10^{28} tartibda molekula bor.

Agar har bir atomning (yoki molekulaning) harakati klassik mexanika qonunlariga bo'ysunadi desak, bunday ko'p sondagi molekular harakatining differensial tenglamalar sistemasini amalda hatto yozish mumkin emas*. Ammo, bunday tenglamalar sistemasi yozilganda ham, ularning echimi haqida hech narsa deyish mumkin emas (hatto eng mukammal EHM lari yordamida ham). Shuning uchun jismning alohida molekulasi (yoki atomi)ning hatti-harakati, masalan uning traektoriyasi, vaziyatining o'zgarish ketma-ketligi va tezligini klassik mexanika usullari bilan o'rganib bo'lmaydi, chunki ular vaqt o'tishi bilan tasodifiy ravishda o'zgaradi.

2. Juda ko'p zarralardan tashkil topgan makroskopik sistemalarning fizik xossalari bir-birini o'zaro to'ldiruvchi ikki xil - statistik va termodinamik usullar bilan o'rganiladi. *Statistik usul* ehtimolliklar nazariyasidan va o'rganilayotgan sistema tuzilishining aniq modellaridan foydalanishga asoslangan. Koordinatalari va impulslari vaqtning har qanday momentida tasodifiy bo'lgan ko'p sonli zarralar umumiy hatti-harakatida o'ziga xos *statistik qonuniyatlar* nomoyon bo'ladi. Masalan, gazda molekular issiqlik harakat tezliklari va ular energiyalarining o'rtacha qiymatlarini gaz temperaturasiga bir qiymatli bog'lanishda aniqlash mumkin. Shuningdek, qattiq jism zarralarining o'rtacha tebranma harakat energiyasini temperaturaga bog'lanishini ham topish mumkin. Çarralar makroskopik sistemasining xossalari nafaqat zarralarning individual xususiyatlari, balki ularning birgalikdagi harakatining o'ziga xosligi va zarralar dinamik xarakteristikalarining o'rtacha qiymatlari (o'rtacha tezlik, o'rtacha energiya va boshqalar) tufayli ham kelib chiqadi. Makroskopik sistemalar fizik xossalarini statistik usul yordamida o'rganiladigan nazariy fizikaning bo'limiga *statistik fizika* deyiladi. Sistemaning alohida zarrasi harakatini ifodalovchi dinamik qonuniyatlar bilan statistik qonuniyatlar orasidagi aloqa shundan iboratki, alohida zarraning harakat qonunlari butun sistema bo'yicha o'rtachalashtirilgandan keyin, u statistik usul bilan ifodalanuvchi zarralar sistemalarining xossalarini aniqlaydi.

3. Fizik hodisalarni tagqiqot qilishining statistik usulidan tashqari *termodinamik usuli* ham bor, bunda o'rganilayotgan jismning ichki tuzilishiga va uning alohida zarrasining harakat xarakteriga e'tibor berilmaydi. Termodinamik usul sistemada sodir bo'luvchi energiyaning turli

* Buning uchun Yer yuzasidagi qog'ozlarni hammasi ham etmas edi!

xil aylanishlaridagi miqdoriy munosabatlarni va shart-sharoitni tahlil qilishga asoslangan. Energiyaning turli ko‘rinishlari orasidagi munosabatlar, tekshirilayotgan sistema qatnashayotgan turli xil jarayonlarda sistemalarning fizik xossalarini o‘rganishga imkon beradi. Makroskopik sistemaning fizik xossalarini termodinamik usul bilan o‘rganadigan nazariy fizikaning bo‘limiga *termodinamika* deyiladi.

Termodinamika tajriba orqali o‘rnatilgan ikki qonunga - termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlari, hamda Nernstning issiqlik haqidagi teoremasi yoki termodinamikaning uchinchi qonuniga tayanagi. Oxirgi qonunni qo‘llash, nisbatan uncha ko‘p bo‘lmagan masalalarni echish uchun zarurdir. Termodinamika qonunlari turli sharoitlardagi makroskopik sistemalarning fizik xossalari haqida ko‘pgina ma‘lumot olishga imkon beradi. Bunda o‘rganilayotgan sistemaning ichki tuzilishi va sistema jismlari tashkil topgan zarralarning harakat xarakteri haqidagi aniq tasavvurlardan foydalanish kerak emas. Termodinamikaning ustunligi ham mana shundadir. U fizikaning turli bo‘limlariga (masalan, molekulyar fizika, elektrodinamika va h.k.) taalluqli bo‘lgan hodisalarni o‘rganishga qo‘llanilishi mumkin. Moddaning ichki tuzilishi asosiy rol o‘ynaydigan hodisalarni o‘rganishda termodinamika o‘zlik qiladi.

Termodinamik sistemalar. Termodinamik parametrlar va jarayonlar

1. Termodinamik usullar bilan ko‘rilayotgan va fikran ajratilgan makroskopik sistemalar *termodinamik sistemalar* deyiladi. O‘rganilayotgan sistema tarkibiga kirmagan barcha jismlar tashqi jismlar yoki tashqi muhit deyiladi. Energiya va modda almashinuvi sistema ichidagi uning bo‘laklari o‘rtasida va shuningdek sistema bilan *tashqi muhit* orasida sodir bo‘lishi mumkin. Sistemani tashqi muhitdan izolyatsiya qilishning mumkin bo‘lgan usullariga qarab bir necha termodinamik sistemalarni farqlaydilar.

Tashqi muhit bilan modda almashishi mumkin bo‘lgan termodinamik sistemaga *ochiq sistema* deyiladi. Bunday sistemalarga tipik misol qilib barcha tirik organizmlarni, hamda bug‘lanish va qaynash tufayli massasi uzluksiz kamayadigan suyuqlikni olish mumkin. *Yopiq sistema* tashqi muhit bilan modda almasha olmaydi. Biz bundan keyin kimyoviy tarkibi va massasi o‘zgaraydigan yopiq sistemalarni ko‘rib o‘tamiz.

Agar sistema tashqi muhit bilan energiya ham, modda ham almasha olmasa, bunday sistemaga *izolyatsiyalangan* (yakkalangan) termodinamik sistema deyiladi. Mexanik nuqtai nazardan yakkalangan, ya‘ni ish bajarish yo‘li bilan energiya almashinuvi sodir qila olmaydigan sistemalarni *yopiq termodinamik sistemalar* deyiladi. Bunday sistemaga misol tariqasida, o‘zgaras hajmli idishga qamalgan gaz xizmat qila oladi. Agar termodinamik sistema boshqa sistemalar bilan issiqlik almashinuv orqali energiya almasha olmasa, u adiabatik sistema deyiladi. Adiabatik sistemaga misol qilib, issiqlik o‘tkazmaydigan qobiq bilan o‘ralgan jismni (masalan, Dpyuar idishiga joylashgan gaz yoki suyuqlikni) olishimiz mumkin. Agar, biror jarayonda sistema holatining o‘zgarishi etarlicha katta tezlikda sodir bo‘lib (masalan, harakatlanuvchi porshenli silindrdagi gaz birdaniga qisilganda), sistema tashqi muhit bilan issiqlik almashishga ulgurmasa, u holda bunday sistemani taxminan *adiabatik sistema* deb hisoblash mumkin.

2. *Termodinamik sistema holatini ifodalash uchun xizmat qiluvchi fizik kattaliklar, termodinamik parametrlar (holat parametrlari) deyiladi.*

Termodinamik parametrlarga misol qilib, bosim, hajm, temperatura, kontsentratsiya va boshqalarni olish mumkin. Termodinamik parametrlar ikki xil bo‘ladi: *ekstensiv va intensiv*. Birinchilari, berilgan termodinamik sistemadagi modda miqdoriga proporsional, ikkinchilari esa sistemadagi modda miqdoriga bog‘liq emas. Eng sodda ekstensiv parametr sifatida sistema hajm V ni olishimiz mumkin. Sistema hajmini uning massasiga nisbatiga teng ν kattalik sistemaning *solishtirma hajmi* deyiladi. Bosim p va temperatura T eng sodda intensiv parametrlardir. *Bosim* deb,

$$p = \frac{dF_n}{dS}$$

formula bilan aniqlanuvchi fizik kattalikka aytiladi. Bunda dF_n jism sirtining dS kichik yuzasiga tik ta‘sir etuvchi kuchning moduli.

3. Agar bosim va solishtirma hajm tushunarli va sodda fizik ma'noga ega bo'lsa, temperatura tushunchasi esa ancha murakkab va uni aniq tasavvur qilish qiyin. Avvalo shuni ta'kidlash kerakki, temperatura tushunchasi qat'iy qilib aytganda, faqat sistemaning muvozanat holati uchunгина ma'noga ega*.

Muvozanatli holat deganda, tashqi sharoit doimiy bo'lganda sistema parametrlarini o'zgarimasligi va sistemada hech qanday oqimlarni (masalan, energiya va modda oqimi) yo'qligi bilan xarakterlanadigan termodinamik sistemaning holati tushuniladi.

Bu ta'rifdan shu narsa ayon bo'ladiki, parametrlarning doimiyligi tashqi muhitda kechadigan hech qanday jarayonlar bilan bog'liq emas. Boshqacha qilib aytganda muvozanatli holat shunday holatki, tashqi sharoit o'zgarimas bo'lganda termodinamik sistema oxir oqibatda unga o'tadi va shu holatda istagancha uzoq vaqt qoladi. Muvozanatli holatda turgan termodinamik sistemaning hamma qismlarida temperatura bir xil bo'ladi.

Temperaturalari har xil bo'lgan ikki jism orasidagi issiqlik almashish jarayonida temperaturasi yuqori bo'lgan jismdan temperaturasi past bo'lgan jismga issiqlik uzatilishi sodir bo'ladi. Ikkala jism temperaturalari tenglashganda bu jarayon to'htaydi.

4. Muvozanat holatda turgan sistemaning temperaturasi, sistemani hosil qilgan atomlar, molekular va boshqa zarralar issiqlik harakati intensivligining o'lchovidir. Temperaturaning molekulyar-kinetik talqini mana shundan iboratdir. Muvozanat holatda turgan va klassik statistik fizika qonunlariga bo'ysunuvchi zarralar sistemasida zarralarning issiqlik harakat o'rtacha kinetik energiyasi sistemaning termodinamik temperaturasiga to'g'ri proporsional**. Shuning uchun ba'zan temperatura, jismning qizdirilganlik darajasini bildiradi deyiladi.

Temperaturani o'lchashda (uni faqat bilvosita yo'l bilan amalga oshirish mumkin xolos), jismlarning to'g'ridan-to'g'ri yoki bilvosita o'lchash mumkin bo'lgan qator fizik xossalari temperaturaga bog'liqligidan foydalaniladi. Masalan, temperatura o'zgarishi bilan jismning uzunligi va hajmi, zichligi, elastiklik xossalari, elektr qarxiligi va boshqalar o'zgaradi. Shu xossalardan hohlagan birining o'zgarishini temperaturani o'lchash uchun asos qilib olish mumkin. Buning uchun *termometrik jism* deb ataladigan biror jismning berilgan xossasini temperaturaga funksional bog'lanishi ma'lum bo'lishi zarur.

Temperaturani amalda o'lchash uchun termometrik jismlar yordamida aniqlangan temperaturalar shkalasi qo'llaniladi. *Xalqaro yuz gradusli temperatura shkalasida* temperatura Selsiy gradusi ($^{\circ}C$) bilan ifodalanadi va t bilan belgilanadi, bunda normal $1.01325 \cdot 10^5 Pa$ bosimda muzning erish va suvning qaynash temperaturalari mos holda 0 va $100^{\circ}C$ dir. *Termodinamik temperatura shkalasida* temperatura Kelpvinlarda (K) ifodalanadi va T bilan belgilanib, *termodinamik temperatura* deb ataladi. Termodinamik temperatura bilan temperaturaning yuz graduslik shkalasi orasida $T = t + 273,15^{\circ}C$ ko'rinishdagi bog'lanish bor. $T = 0 K$ temperatura (yuz gradusli shkalada $t = -273,15^{\circ}C$) temperaturaning *absolyut noli* yoki *temperaturalar termodinamik shkalasining noli* deb ataladi.

5. Sistemaning holat parametrlari tashqi va ichki parametrlarga bo'linadi. Berilgan sistemaga nisbatan tashqi hisoblangan jismlarning fazodagi vaziyatiga va turli xossalari (masalan, elektr zaryadlari) ga bog'liq bo'lgan fizik kattaliklarga *sistemaning tashqi parametrlari* deyiladi. Masalan, gaz uchun bunday parametr, gaz joylashgan idishning hajmi V hisoblanadi, chunki hajm tashqi jism bo'lgan idish devorlarining vaziyatiga bog'liq. Elektr maydonida joylashgan dielektrik uchun tashqi parametr bo'lib, tashqi manbalar bilan bog'langan bu maydonning kuchlanganligi hisoblanadi. Ochiq idishdagi suv uchun atmosfera bosimi tashqi parametr vazifasini bajaradi. Sistemaga nisbatan tashqi jismlarning holatiga hamda shu sistemani hosil qilgan zarralarning koordinata va tezliklariga bog'liq bo'lgan fizik kattaliklarga *sistemaning ichki parametrlari* deyiladi. Masalan, gazning ichki parametrlari bo'lib,

*Temperatura makroskopik sistema holatining termodinamik parametri ekanligidan ma'lum bo'ladi, bu tushuncha yakka zarra (atom, molekula va h.k.) uchun ma'noga ega emas.

** Yaqin vaqtgacha u *absolyut temperatura* deb nomlangan.

molekulalarning koordinatalari, harakat tezliklari va gaz zichligiga bog'liq bo'lgan uning bosimi va energiyasi hisoblanadi.

Thermodynamic Systems and Surroundings

Thermodynamics involves the study of various systems. A *system* in thermodynamics is nothing more than the collection of matter that is being studied. A system could be the water within one side of a heat exchanger, the fluid inside a length of pipe, or the entire lubricating oil system for a diesel engine. Determining the boundary to solve a thermodynamic problem for a system will depend on what information is known about the system and what question is asked about the system.

1

Termodinamik jarayon deganda, tekshirilayotgan termodinamik sistema holatining termodinamik parametrlarining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan har qanday o'zgarish tushuniladi. Agar sistema jarayon davomida cheksiz yaqin termodinamik *muvozanatli* holatlarning uzluksiz qatorini o'tsa, bunday jarayonga muvozanatli termodinamik jarayon deyiladi. Sistema holati o'zgarishining real jarayonlari chekli tezlik bilan sodir bo'ladi, shuning uchun ular muvozanatli bo'lishi mumkin emas.

6. Biroq ravshanki, agar real jarayonlarda sistema holatining o'zgarishi qanchalik sekinlik amalga oshirilsa, u shunchalik muvozanatli jarayonga yaqin bo'ladi. Shuning uchun muvozanatli jarayonlarni *kvazistatik* jarayonlar deyiladi.

Quyidagi jarayonlar eng sodda termodinamik jarayonlarga misol bo'la oladi:

- a) *izotermik jarayon*, bu jarayonda sistemaning temperaturasi o'zgarmaydi ($T=\text{const}$);
- b) *izoxorik jarayon*, sistemaning hajmi o'zgarmas bo'lgan holda o'tadi ($V=\text{const}$);
- v) *izobarik jarayon*, sistemadagi bosim o'zgarmas bo'lgan holda ro'y beradi ($R=\text{const}$).

Sistema bilan tashqi muhit issiqlik almashmasdan o'tadigan *adiabatik jarayon* ham muhim ahamiyatga ega.

MOLEKULAR FIZIKADA QO'LLANILADIGAN MATEMATIKA ASOSLARI. SISTEMANING MAKROSKOPIK VA MIKROSKOPIK HOLATLARI. ERGODIK GIPOTEZA.

Reja

1. Molekulyar fizikada qo'llaniladigan matematika asoslari Suyuqliklarning hajmiy hossalari
2. Suyuqliklarning issiqlik sigimlari va ulardagi ko'chish hodisasi
3. Sirt taranglik hodisasi
4. Laplas bosimi. Kapilyar hodisasi

Molekulyar-kinetik va termodinamik usul. Molekulyar fizika va termodinamika jismlardagi mikrosko'pik jarayonlarni ya'ni jismlar tarkibidagi ko'p miqdordagi atomlar va molekulalar bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni o'rganadi. Bu jarayonlarni o'rganishda turli sifatli, lekin bir-birini o'zaro to'ldiradigan ikki usul qo'llaniladi.

1. Statistika (molekulyar-kinetik) usul.
2. Termodinamik usul.

Modda tuzilishini va uni xossalarini molekulyar-kinetik tasavvurlar asosida, ya'ni molekulalar hamma vaqt betartib harakat holatida bo'lishlari va molekulalar orasida o'zaro ta'sir kuchlari mavjudligi asosida tushuntiruvchi fizikaning bo'limiga **molekulyar fizika** deyiladi.

¹ US DOE Fundamentals Handbook. Vol.1.p-26

Tizimni tashkil etuvchi juda ko'p sonli zarralarning ularning dinamik nuqtai nazardan xarakterlovchi fizik kattaliklar yordamida tizim xususiyatlarini o'rganish usuli **statistik yoki molekulyar kinetik** usul deyiladi. Tizimning fizik xususiyatlarini **termodinamik usul** bilan o'rganadigan fizikaning bo'limi **termodinamika** deb ataladi. Energiyani bir- turdan boshqa turga o'tishi va energiya hisobiga ish bajarish bilan bog'liq bo'lgan texnik muammolarning juda katta qismi termodinamik nuqtai nazardan tekshirib hal qilinishi mumkin.

Fizika hodisalarni o'rganishda bir yo'la ham statistik va ham termodinamik usullardan foydalanish natijasida olingan ma'lumotlar bir- birini to'ldiradi. Chunki termodinamik usul orqali hodisani o'rganishda tizimning tuzilishi va uni tashkil etuvchi zarralarning harakatlanish qonunlari hisobiga olinmaydi. Statistik usul esa ko'zatilayotgan hodisani tushunishga va bu hodisaning tizimdagi zarralarning qanday xususiyatlariga bog'liq ekanligini aniqlashga yordam

SUYUQLIKLARNING TUZILISHI

Suyuqliklarda molekular gazlardagi molekularga nisbatan bir-biriga juda yaqin joylashgan. Agar gazlarda molekulararo o'zaro ta'sir, Van-der-Vaals kuchlari faqatgina past temperaturalarda va katta bosimlardagina sezilarli bo'lsa, suyuqliklarda bu kuchlar juda sezilarli va asosiy ta'sirlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Avvallari suyuqliklar o'z tuzilishiga ko'ra gazlardan farq qilmaydi, faqatgina ular gazlardan molekulararo masofalarining kichikligi va Van-der-Vaals kuchlarining qiymati bilangina farq qiladi deb hisoblanar edi. Ammo tajribalar shu narsani ko'rsatadiki, suyuqliklar o'z tuzilishi bilan gazlardan ko'ra qattiq jismlarga yaqinroq turar ekan. Masalan, suvning rentgen nurlarida tuzilishini o'rganish bo'yicha olingan tasviri, uning tuzilishi muz kristallining tuzilishi bilan deyarli bir xil ekanligini ko'rsatdi. Lekin, tasvirlar kristall tuzilish suvda muzdagidan ko'ra kuchsizroq namoyon bo'lishini ko'rsatadi. Bu shu narsaning natijasiki, suyuqlik kristallari, birinchidan juda kichik o'lchamlarga ega, ikkinchidan bu kristalchalarning tugunlaridagi suyuqlik molekulari qattiq jismlardagi kabi o'troq emas, uchinchidan bu kristalchalar vaqt o'tishi bilan fazoda o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi. Panjara tugunida joylashgan molekula molekulararo masofa tartibida ro'y beradigan tebranishlar bilangina cheklanadi va vaqti-vaqti bilan o'z joyini o'zgartirib turadi.

Molekulalarning kristall panjara tugunidagi o'troqlik vaqti suyuqlik molekularining xossalriga, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlariga, suyuqlikning zichligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi. Molekulalarning bir vaziyatdan ikkinchi vaziyatga ko'chib o'tish kattaligi molekulararo masofa tartibida, ya'ni 10^{-8} sm atrofida bo'ladi.

SIRT TARANGLIK

Suyuqlik molekulasiga uning atrofidagi molekularning tortishish kuchlari ta'sir qiladi. Agar molekula suyuqlik ichida bo'lsa, bu kuchlar o'rtacha hisobda bir-birini muvozanatlaydi. Suyuqlik sirti yaqinidagi, qalinligi molekulyar ta'sir sferasi radiusiga teng bo'lgan qatlamda turgan molekulaga ta'sir qiluvchi natijaviy kuch suyuqlik ichiga tomon yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun suyuqlik molekularini suyuqlik ichidan uning sirtiga chiqarish uchun ish bajarish talab qilinadi. Bu ish suyuqlik sirtini ortishiga olib keladi. Suyuqlik sirtini bir-birlikka izotermik ravishda orttirish uchun sarflash kerak bo'lgan ishga **sirt taranglik koeffitsiyenti** deyiladi.

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (1)$$

bu yerda ΔA - suyuqlik sirtini ΔS qadar kattalashtirish uchun bajariladigan ish.

Suyuqlikning sirti suyuqlikning qolgan qismiga nisbatan ortiqcha potensial (erkin) energiyaga ega bo'ladi. Shu sababli sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlik sirti-ning bir birligiga to'g'ri keluvchi suyuqlik sirti erkin energiyasi sifatida ham ta'riflash mumkin.

Ma'lumki, sistemaning muvozanat holatida uning energiyasi minimal bo'ladi. Buni nazarda tutadigan bo'lsak, suyuqlik muvozanat holatida minimal sirtga ega bo'lishi ravshan bo'ladi. Bu esa o'z navbatida suyuqlik sirtining kattalashishiga to'sqinlik qiladigan kuchlar mavjud ekanligini bildiradi. Bu kuchlar sirt taranglik kuchlari deb ataladi. Sirt taranglik kuchlari sirtga urinma ravishda yo'nalgan bo'ladi.

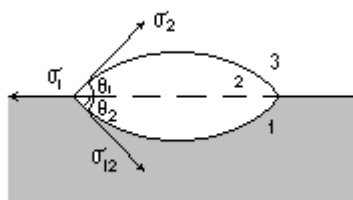
Agar suyuqlik sirtini chegaralovchi chiziqning (ajralish chizig`ining) uzunligi ℓ ga va shu chiziq bo`ylab ta`sir qiluvchi sirt taranglik kuchi f ga teng bo`lsa, u holda sirt taranglik koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida topila-di:

$$\sigma = \frac{f}{\ell} \quad (2)$$

(2) ifodadan sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlik sirtiga urinma bo`ylab ta`sir qiluvchi va son jihatdan suyuqlik sirti ajralish chizig`ining uzunlik birligiga to`g`ri keluvchi kuchga teng kattalikdir deb ta`riflash mumkin.

IKKI MUHIT CHEGARASIDAGI MUVOZANAT SHARTLARI

Uchta muhit o`zaro chegaradosh bo`lgan holni ko`rib chiqaylik (17-rasm).



Bu rasmda ko`rsatilgandek, 2-suyuqlikning tomchisi 1-suyuqlikning sirtida joylashtirilgan. 3-muhit - bu 1 va 2 - suyuqliklar bug`larining havo bilan aralashmasi.

17-rasm

Gazsimon muhit suyuqliklarning sirt energiyalariga deyarli ta`sir ko`rsatmaydi deb hisoblaylik. 2-tomchining shakli tegishli ikki muhitning tegishish sirtiga urinma bo`ylab yo`nalgan sirt taranglik kuchlari yoki tegishli sirt taranglik koeffitsiyentlari $-\sigma_1$, σ_2 , va σ_{12} orasidagi munosabatga bog`liq bo`ladi. 2-suyuqlik muvozanatda bo`lishi uchun har uchala sirt taranglik koeffitsiyentlarining vektor yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak:

$$\vec{\sigma}_1 + \vec{\sigma}_2 + \vec{\sigma}_{12} = 0 \quad (1)$$

(1) ifodani skalyar ko`rinishda yozsak, quyidagi tenglamani olish mumkin:

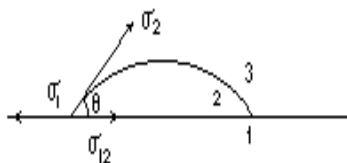
$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_2 \cdot \sigma_{12}(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

bu yerda θ_1 va θ_2 burchaklar chegaraviy burchaklar deyiladi.

Agar $\sigma_1 > \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo`lsa $\theta_1 + \theta_2 = 0$ bo`ladi va bu holda tomchi 1- suyuqlik sirtida yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bunday holda 1-suyuqlikni 2-suyuqlik tamomila ho`llaydi deb yuritiladi. Agar $\sigma_1 < \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo`lsa, u holda 2 suyuqlik $\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo`lgunga qadar tortiladi. Bu holda suyuqlik yosmiqsimon shaklga ega bo`ladi.

Qattiq jism sirtida suyuqlik tomchisi ham o`zini xuddi shunga o`xshash tutadi. (18-rasm).

Bu hol uchun muvozanat sharti quyidagicha yoziladi:



$$\sigma_1 = \sigma_{12} + \sigma_2 \cos \theta \quad \text{yoki} \quad \cos \theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma_2} \quad (3)$$

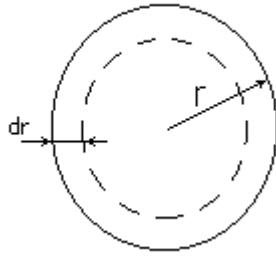
18-rasm

θ burchak chegaraviy burchak deyiladi. Agar $\theta=0$ bo`lsa, u holda suyuqlik qattiq jism sirti bo`ylab yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bu hodisa to`la ho`llash deb ataladi. $\theta=\pi$ bo`lgan hol esa qattiq jismning to`la ho`llanmasligiga tegishlidir.

Ko`pincha qisman ho`llash $\left(\theta < \frac{\pi}{2}\right)$ yoki qisman ho`llanmaslik $\left(\theta > \frac{\pi}{2}\right)$ oraliq hodisalari kuzataladi.

SUYUQLIKNING EGRI SIRTIDA YUZAGA KELUVCHI BOSIM

Suyuqlik sirtining egriligi shu sirt ostida turgan suyuqlikka ta`sir qiluvchi kuchlarning paydo bo`lishiga olib keladi. Buning ta`sirida sirt ostidagi suyuqlik birmuncha siqilgan bo`ladi, ya`ni u sirtga perpendikulyar va sirtning egrilik radiusi bo`ylab yo`nalgan qo`shimcha bosim ta`sirida bo`ladi.



19-rasm
Siqish ishi

Faraz qilaylik shar shaklidagi suyuqlik bu bosim taʼsirida oʻz hajmini 19-rasmda koʻrsatilgandek dV ga kamaytirgan boʻlsin. Bunda bajarilgan ish suyuqlik sirt energiyasining kamayishi hisobiga boʻladi.

$$dA = PdV \quad (1)$$

boʻladi. Sirt energiyasining kamayishi esa

$$dF = \sigma \cdot dS \quad (2)$$

ga teng. Shar hajmining va sirtining uning radiusini dr ga kamayishiga mos keluvchi oʻzgarishlari quyidagilarga teng boʻladi:

$$dS = 8\pi r dr, \quad dV = 4\pi r^2 dr \quad (3)$$

Bu qiymatlarni (1) va (2) tenglamalarga qoʻyib, hamda $dA = |dF|$ ekanini nazarga olib quyidagini olamiz:

$$P4\pi^2 dr = \sigma 8\pi r dr \quad (4)$$

Bundan suyuqlikka uning egri sirti koʻrsatayotgan bosim uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$P = \frac{2\sigma}{r} \quad (5)$$

Agar suyuqlik sirti silindrik shaklda boʻlsa, u holda qoʻshimcha bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

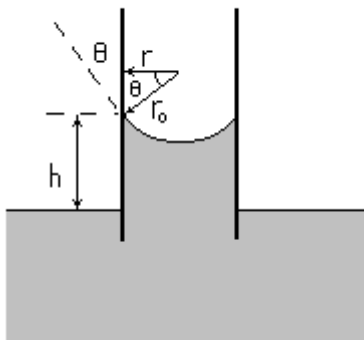
Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bogʻliq boʻlgan qoʻshimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (7)$$

Bu yerdagi r_1 va r_2 - sirtning berilgan nuqtasidagi yoki aniqrogʻi sirtning shu berilgan elementi uchun asosiy egrilik radiuslari.

Laplas bosimining taʼsiri kapillyar idishlarda sezilarli boʻladi. Bunday idishlarda suyuqlik sirtining egrilik radiusi suyuqlik solingan idishning oʻlchamlari tartibida boʻladi. Kapillyar idishlarda boʻladigan hodisalar kapillyar hodisalar deyiladi.

Kapillyarlik bilan bogʻliq boʻlgan eng xarakterli hodisalardan biri suyuqlikning kapillyar nayda koʻtarilishidir (20-rasm).



20-rasm

Bu rasmda suyuqlik keng idishga tushirilgan ingichka naycha tasvirlangan. Bunday r -naychani radiusi, r_0 - suyuqlik sirtining egrilik radiusi.

Sirtning egriligidan hosil boʻlgan bosim tufayli naychadagi suyuqlik yuqoriga qarab yoʻnalgan

$$P = \frac{2\sigma}{r_0} \quad (8)$$

bosim taʼsiriga duch keladi. Natijada suyuqlik nay boʻylab toki bu bosim suyuqlik ustunining

ρgh gidrostatik bosimi bilan muvozanatga kelguncha ko'tariladi. Quyidagi

$$\rho gh = \frac{2\sigma \cos\theta}{r} \quad (9)$$

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

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho gr} \quad (10)$$

Agar chegaraviy burchak θ o'tmas bo'lsa, ya'ni suyuqlik kapillyarni ho'llamasa, h kattalik manfiy bo'ladi. Chunki, Laplas bosimi pastga qarab yo'nalgan bo'ladi.

3-MA'RUZA. IDEAL GAZLARNING KINETIK NAZARIYASI. IDEAL GAZ VA UNING BOSIMI. MOLEKULYAR KINETIK NAZA-RIYASINING ASOSIY TENGLAMASI.

REJA:

1. Ideal gaz.
2. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.
3. Issiqlik va harorat.
4. Mutloq haroratni aniqlash.

Moddaning ayrim zarralari—atom yoki molekulalar nihoyatda mayda bo'ladi. Masalan uglerodning molyar massasi $\mu = 12 \text{ g/mol}$ bo'lgani holda, undagi atomlar soni $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} / \text{mol}$ ga teng. Bu son Avagadro soni deb ataladi va u har qanday moddaning bir molidagi zarralar sonini bildiradi. Bu sonning qanchalik kattaligini bilish uchun uni bir marotaba daraja ko'rsatgichsiz yozib ko'rish mumkin. SHunga mos ravishda bir atomning massasi juda kichik bo'ladi: $m = \mu / N_A = 1.993 \cdot 10^{-23} \text{ g}$. Qattiq jismlarda va suyuqliklarda atom yoki molekulalar bir-biriga tegib turadi deyish mumkin. Ularni zichligini bilsak, modda zarralarining o'lchamlarini baholash mumkin. Grafitning zichligi $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$, shunga asosan uglerod atomining hajmi va chiziqli o'lchamlari $V_0 = \mu / \rho N_A \approx 1 \cdot 10^{-23} \text{ sm}^3$ va $l_0 \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Olmos ham uglerod atomlaridan tashkil topgan, lekin uning zichliga kattaroq: $\rho = 3500 \text{ kg/m}^3$. Bu holda uglerod atomlarini o'lchamlari uchun kichikroq sonlarni olamiz. Bundan atom va molekulalarning o'lchamlari haqidagi bilimlar nisbiy, *taqribiy* ekanligi ma'lum bo'lmoqda.

Fizikada atom massa birligi (a.m.b.) kiritiladi, bu birlikda ($1 \text{ a.m.b.} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$) uglerod atomining massasi 12 a.m.b. ga tengdir. Mendileev jadvalida atomlarning massalari shu birlikda yoziladi.

Modda miqdorini mol birligida o'lchash ayniqsa gazlarni xossalari o'rganishda qulaydir, chunki Avagadro qonuniga ko'ra bir xil sharoitda turli gazlarning konsentratsiyasi teng bo'ladi.

Qattiq jismlar va suyuqliklardagidan farqli ravishda gaz zarralarini bir – biriga tegib turadi deyish qiyin, chunki gazlarning hajmi o'zgaruvchandir. SHuning uchun gazni erkin uchib yurgan zarralar sistemasi sifatida tasavvur qilish mumkin. Zarralarning bunday betinim va betartib harakati **issiqlik harakati** deyiladi. Gazning xossalari aynan shu issiqlik harakati bilan aniqlanadi.

Birinchiidan, zarralar devorlarga urilib, orqaga qaytar ekan, mexanika qonunlariga binoan o'z impulsini o'zgartiradi va, natijada, idish devoriga kuch bilan ta'sir etishadi, bosim vujudga keladi. Bu bosim muvozanatli sistemaning barcha qismida bir xil bo'ladi (Paskal qonuni). Gaz bosimini o'rganilayotganda zarralarni bir-biri bilan to'qnashishlari muhim emas va bu to'qnashuvlarni inobatga olmasa ham bo'ladi. Lekin boshqa xodisalarda bu to'qnashuvlar ahamiyatli bo'lib, ularni inobatga olinadi.

Ikkinchiidan, zarralarning to'qnashuvlari tufayli ular o'z tezliklarining qiymatini va

yoʻnalishini oʻzgartirib turadi, bu esa ularning konsentratsiyasi (zichligi) idish hajmi boʻyicha tekis (birjinsli) taqsimlanishiga olib keladi. Agar biron tashqi yoki ichki tasodifiy sabablarga koʻra hajmning biron qismida zarralar konsentratsiyasi (yoki gaz zichligi) oʻrtachadan chetlashsa (bu hodisa *fluktuatsiya* deyiladi), zarralarning betinim toʻqnashuvlari tufayli bu chetlashish yoʻqoladi, sistema oʻzidan-oʻzi *muvozanat* holatiga qaytib keladi. Bunga ketgan vaqt τ sistemaning muhim xarakteristikasi boʻlib, *relaksatsiya vaqti* deb ataladi. Gaz bosimi ham konsentratsiyaga bevosita bogʻliq boʻlib, undagi oʻrtacha qiymatdan chetlashish tezda muvozanat holatiga qaytadi.

Uchinchidan, zarralarning tezliklarida ham qandaydir statistik tartib boʻlishi kerak. Butun gazli sistema qoʻzgʻalmay turibdi deb hisoblanar ekan, zarralarning ixtiyoriy yoʻnalishdagi impulslarining yigʻindisi nolga teng boʻlishi kerak. Birorta tezlikdagi zarralarni soni boshqa (yaqin) tezlikdagi zarralar sonidan keskin farq qilishi mumkin emas. Bunday farqlar biron sabab tufayli vujudga kelganda ham, zarralarning betinim toʻqnashuvlari ularni qisqa τ vaqtda muvozanatli holatga keltiradi.

Ideal gaz modeli fizikaning muhim tushunchasidir. Gazsimon modda xaqidagi boshlangʻich tasavvurlarni mujassamlantirgan bu model gazlarning bir qator xossalarini tushuntirish imkonini beradi, bu xossalar koʻp hollarda real gazlar uchun ham (agar ular juda zich boʻlmasa) oʻrinlidir. **Ideal gaz modeliga koʻra gaz betinim tartibsiz harakatdagi zarralar (molekulalar) sifatida tasavvur etiladi.** Oʻz harakati tufayli zarralar sochilib ketishi mumkin, faqat idish devorlarining mavjudligi ularni chekli fazoda qolishini taʼminlab turadi. Zarralarning bir-biri bilan va idish devorlari bilan toʻqnashuvlari elastik roʻy beradi deb hisoblanadi. Koʻchish hodisalarini tushuntirishda gaz zarralarini qattiq sharlar kabi toʻqnashadi deb hisoblanadi, toʻqnashuvlar orasida esa ideal gaz zarralar erkin harakatlanadi deb hisoblanadi (**real gazda** zarralar orasidagi taʼsirlashuv barcha masofalarda mavjud, lekin kuchsiz deb hisoblanadi). Gaz zarralarining orasidagi taʼsirlashuvni kichik boʻlishi yoki yoʻq boʻlishi gazni idish hajmi boʻylab **tekis (birjinsli) taqsimlanishini** tushuntiradi. Gaz zarralari tor

Ideal gaz haqidagi bunday sodda tasavvurlar ham gaz qonunlarini keltirib chiqarishga yetarli ekanligini koʻraylik.

Molekulalar issiqlik harakati tartibsiz boʻlib, bu harakat natijasida ular har doim bir-biri bilan va idish devori bilan toʻqnashib turadi. Gaz molekulalari bilan idish devori hosil qilingan oʻzaro taʼsirlaridan foydalanib, gazning devorga bergan taʼsir kuchi - bosimini baholanadi. Birlik vaqt ichida idish devorining birlik yuziga molekulalar tomonidan berilayotgan impulslar yigʻindisi bosimni hosil qiladi. Har bir molekula harakat yoʻnalishiga perpendikular yuzaga kelib elastik urilganda uning impulsi

$$m_M v_i - (-m_M v_i) = 2m_M v_i$$

ga oʻzgaradi. Agar qirralarining uzunligi l , boʻlgan kubning birlik hajmidagi molekulalar sonini n deb belgilasak, kubning qarama-qarshi devorlari orasida harakatlanayotgan molekulalar soni

$$N = \frac{1}{3} n l^3$$

ifoda bilan aniqlanishi mumkin. Kub qirrasining uzunligi l boʻlganligi uchun molekulalarning u yoki bu devorga urilishlari har $\tau = 2l/v_i$ vaqtda takrorlanib turadi. Bularni hisobga olib i - molekula tomonidan devorga berilayotgan oʻrtacha taʼsir kuchini aniqlaymiz:

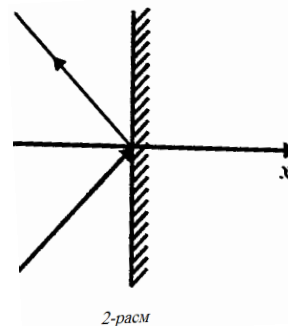
$$F_i = \frac{2m_M v_i}{\tau} = \frac{m_M v_i^2}{l}$$

Devorga taʼsir etuvchi umumiy kuch esa

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{l}$$

teng boʻladi. Bu ifodaning surat va maxrajini N ga koʻpaytirsak

$$F = \frac{N m_i \sum_{i=1}^n v_i^2}{l N}$$



2-расм

Bundagi

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{N} = v_{yp.k6.}^2$$

kattalikni *o`rtacha kvadratik tezlik* deb yuritiladi.

(6.18) va (6.21) larni eotiborga olib (6.20) ifodani quyidagicha yozamiz

$$F = \frac{1}{3} n l^2 m_M v_{yp.k6.}^2$$

Bundan

$$P = \frac{F}{l^2} = \frac{1}{3} n m_M v_{yp.k6.}^2$$

hosil qilamiz.

Bu tenglama *idela gaz molekular - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi* deb yuritiladi (6.22) quyidagicha o`zgartirib yozamiz:

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m_M \langle v_{yp.k6.}^2 \rangle}{2}$$

Demak, ideal gaz bosimi birlik hajmdagi gaz molekulari o`rtacha kinetik energiyasining 2/3 qismiga teng. Ikkinchi tomondan teng bo`lgani uchun (6.23) quyidagicha yozamiz:

$$\frac{m_M v^2}{2} = \frac{3}{2} KT \quad \text{yoki} \quad P = nkT$$

Gazlar bilan bog`liq bolgan hodisalarni organishni soddalashtirish maqsadida *ideal gaz* tushunchasi kiritiladi. Quyidagi soddalashtirishlarni kiritaylik:

a) gaz molekulari orasida ozaro ta`sirlashish kuchlari mavjud emas.

b) gaz molekularining olchamlari hisobga olmaslik darajasida kichik.

v) gaz molekularining ozaro toqnashishlari elastik sharlarning toqnashuvidek sodir boladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin boladi. Masalan, atmosfera bosimida vodorod va geliy gazlari ideal gazga juda yaqin boladi. Gaz bir holatdan ikkinchi holatga otganda parametrlari ozgaradi. Ozgarmas m massali gaz holatini ozgarishida parametrlar (bosim R, hajm V va temperatura T) dan bir ozgarmasdan saqlanib qolgan ikkitasi ozgarishi mumkin.

1) **Izotermik jarayon (T=sonst)**

da gaz holatining ozgarishi Boyle-Mariot qonuni bilan aniqlanadi.

$$RV = \text{const} \quad (6.7)$$

2) **Izobarik jarayon (R=sonst)** Gey - Lyussak qonuniga boy sunadi.

$$V = V_0(1 + \alpha_v t)$$

bundan

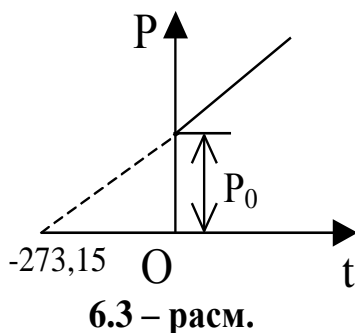
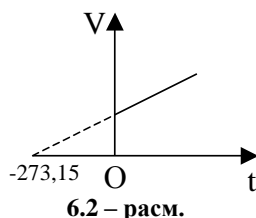
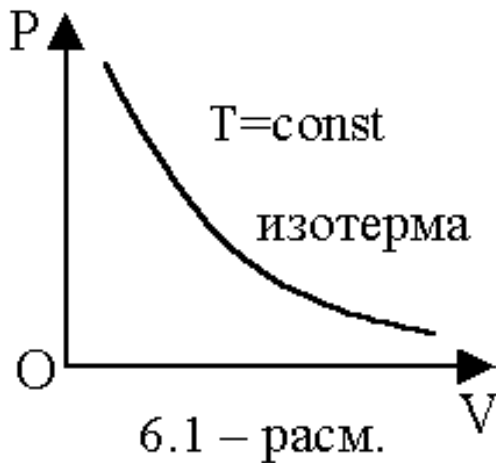
$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

hosil qilamiz (6.2-rasm). Bu yerda α_v - gazning hajm kengayish termik koeffitsienti,

$$\alpha_v = \frac{1}{273,15} K^{-1}$$

3) **Izoxorik jarayon (V=sonst)** da amalga oshadi va Sharl qonuni boyicha aniqlanadi (6.3-rasm).

$$P = P_0(1 + \alpha_p t)$$



bundan

$$\frac{P}{T} = const$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda ideal gaz uchun $\alpha_v = \alpha_r$. α_r - bosimning termik koeffitsientidir.

Endi ideal gaz parametrining har uchasi R_1, V_1, T_1 holatdan ozagarib R_2, V_2, T_2 holatga o'tsin.

Bu vaqtda ($T_1 = const$) da gaz bosimini R_2 gacha ozgartiraylik. Natijada gaz hajmi ham ozgaradi (V'). Izotermik jarayonda

$$P_1 V_1 = P_2 V'$$

Bunda

$$V' = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

ifodani hosil qilamiz. Ikkinchi jarayonda ($R_2 = const$) da temperaturani T_2 gacha orttiramiz. Natijada gaz V_2 hajmga izobarik kengayadi. Gey - Lyussak qonuniga asosan quyidagini yozamiz:

$$\frac{V'}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Bunda

$$V' = \left(\frac{V_2}{T_2} \right) T_1$$

ifoda hosil boladi. (6.12) va (6.13) lardan

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

tenglikni yozamiz. Demak, ozgarmas massali gaz uchun bosim va hajm kopaytmasini temperaturaga nisbati

$$\frac{PV}{T} = B$$

ozgarmas miqdorga teng bolib, bu tenglamani Klapeyron tenglamasi deb ataladi. Bu yerda V gaz massasi va turiga bog'liq gaz doimiysidir. (6.14) tenglamani D.I.Mendelev normal sharoitda 1 mol gaz uchun quyidagi ozgartiradi:

$$PV_M = RT$$

bunda R - gazning universal doimiysi deb ataladi.

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

$V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ 1 mol ideal gazning hajmidir.

Agar (6.15) tenglamaning har ikki tomoniga m/μ ni kopaytirib va $(m/\mu) V_m = V$ teng deb olsak

$$PV = \left(\frac{m}{\mu} \right) RT$$

Klapeyron - Mendelev tenglamasini hosil qilamiz. Bu yerda μ - molyar massa, m - ixtiyoriy olingan gaz massasi.

Avogadro qonuniga ko'ra bir xil sharoitda turli gazlarning konsentratsiyasi teng bo'ladi. Bu natija $P = nkT$ tenglamadan to'g'ridan-to'g'ri kelib chiqadi, tenglama gazning turiga bog'liq emas. 0°S temperatura ($T_0 = 273,15 \text{ K}$) va 1 atmosfera ($P_0 = 101325 \text{ Pa}$) bosimli sharoitni **normal sharoit** deyishga odatlanilgan. Bunday sharoitda gazning 1 sm^3 hajmdagi zarralar soni (15) holat tenglamasiga asosan $L = 2,69 \cdot 10^{19}$ bo'lib, bu sonni **Lashmidt** soni deyiladi. Normal sharoitda bir mol gazning hajmi $V_0 = 22,41$ litr bo'lishini hisoblash ham qiyin emas. Bu miqdorlar orasida $P_0 V_0 = RT_0$ va $P_0 = LkT_0$ bog'lanishlar o'rinli.

YUqoridagi bosim uchun ifoda keltirib chiqarishdan ko‘rinadiki, gaz bir-necha turdagi zarralar (malekulalar) aralashmasidan iborat bo‘lsa, bu komponentalarning har biri idish devorlariga uriladi va bosim xosil qiladi, har biri uchun holat tenglamasini yozish mumkin, ularda sistemaning barcha tashkil etuvchilari uchun umumiy bo‘lgan hajm V ishtirok etadi: $P_i V = n_i k T$. Bunday tenglamalarni qo‘shib yuborib, umumiy bosimni topiladi, va u xususiy bosimlarni yig‘indisiga teng bo‘ladi. Gazlarning bosimini bunday xossasini **Dalton qonuni** deyiladi.

Gaz holati doimiy bosimda o‘zgarayotgan bo‘lsa, $PV = kNT$ tenglamadan $V = CT$, $C = kN/P = const$ ekanligini topamiz. Tarixan bu, **Gey-Lyussak qonuni** absolyut temperatura tushunchasi bo‘lmagan paytda, TSelsiy temperaturasi orqali empirik aniqlangan edi: $V = V_0(1 + \alpha t)$, V_0 - gazning 0^0S haroratdagi hajmidir. Tajribalardan gazlarni kengayish koeffitsienti $\alpha = 1/273.15$ ni aniqlanishi absolyut temperatura tushunchasini vujudga kelishiga, va TSelsiy temperaturasi bilan bog‘lanish $T = t + 273.15$ ni topilishiga olib kelgan.

Gaz hajmi doimiy bo‘lgan yopiq idishda tursa, bosim uchun quyidagi **Sharl qonuni** o‘rinlidir: $P = C'T$, $C' = kN/V$. Bu qonun ham dastlab empirik tarzda ochilgan bo‘lib, Selsiy temperaturasi bilan yozilgan: $P = P_0(1 + \alpha t)$. Sharl va Gey-Lyussak qonunlarida bosim va hajmni temperaturaviy o‘zgarishini tavsif etuvchi koeffitsientlarni tengligi aniqlangan, va bu Sharl va Gey-Lyussak qonunlarini umumlashtiruvchi Klapeyron tenglamasini ochilishiga asos bo‘lgan.

(8) va (12) ga asosan ideal gazning ichki energiyasi:

$$U = \frac{3}{2}kNT \quad (20)$$

Bu yerda $\varepsilon = 3kT/2$ ayrim zarraning o‘rtacha energiyasi ekanligi ayondir. Bu energiya zarraning massasiga bog‘liq emasligi diqqatga sazovordir.

Ideal gazlarga xos bo‘lgan boshqa miqdorlarni ham topaylik. (20) ga ko‘ra ideal gazning hajm doimiy bo‘lgan holdagi issiqlik sig‘imi

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = \frac{3}{2}kN \quad (21)$$

ekan. Termodinamikadan quyidagi munosabat ma’lum:

$$C_P - C_V = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right]. \quad (22)$$

Bu yerda C_P - hajm o‘zgarmas bo‘lgan holdagi issiqlik sig‘imi; xosilalar yonidagi indekslar xosilalar doimiy bosim yoki doimiy temperaturada hisoblanishi lozimligini ko‘rsatmoqda. (20) ifodaga ko‘ra ichki energiya hajmga bog‘liq emas, demak $(\partial U / \partial V)_T = 0$ ekan. Holat tenglamasidan foydalanib, ikkinchi xosilalarni hisoblaymiz: $(\partial V / \partial T)_P = kN / P$. Bularni (22) ga qo‘ysak:

$$C_P - C_V = kN, \quad (23)$$

$$C_P = \frac{5}{2}kN. \quad (24)$$

Adiabata ko‘rsatkichi deb issiqlik sig‘imlarini nisbatiga aytiladi:

$$\gamma = C_P / C_V = 5/3. \quad (25)$$

Ichki energiya, issiqlik sig‘imi ifodalarida N ishtirok etishi ularni ideal gaz uchun additiv miqdorligini ko‘rsatadi.

Gazlarning issiqlik sig‘imi masalasini qo‘shimcha muhokama qilaylik. Issiqlik sig‘imi an’anaviy ravishda bir mol uchun ($N = N_A$) yoziladi. Unda (23) tenglik quyidagicha yoziladi:

$$C_P = C_V + R \quad (29)$$

va *Mayer tenglamasi* deb ataladi.

Bir atomli gaz uchun zarralarning erkinlik darajasi $i = 3$ ishtirokida molyar issiqlik sig‘im $C_V = iR/2$ bo‘ladi. Bunday issiqlik sig‘im zarralarning ilgarilanma harakati bilan bog‘liq

bo'lib, gazning bosimi hisoblanganda zarralarning aynan ilgariylanma harakati ahamiyatlidir.

Lekin ikki atomli gazlarda molekullarni aylanma va tebranma harakatlari ham bo'ladi, ularni hisobiga gazning erkinlik darajasi va issiqlik sig'imi ortadi. Bunday harakatlarni klassik tasavvurlar asosida hisobga olinganda $i = 7$ bo'lishi kerak. Tajriba esa normal temperaturada ko'pchilik ikki atomli gazlar uchun $i = 5$ bo'lishini, faqat yuqori haroratlardagina tebranma harakatlar kuchayib, $i = 7$ bo'lishini ko'rsatadi. Bu holda molyar issiqlik sig'im ikki atomli gaz uchun $C_V = 5R/2$ va $C_V = 7R/2$, uch atomli gaz uchun $C_V = 3R$ va $C_V = 4R$ bo'ladi. SHunga mos ravishda adiabat ko'rsatkichi quyidagicha bo'ladi: $\gamma = 7/5$ va $\gamma = 4/3$. Termodinamik xarakterdagi Mayer tenglamasi $C_p = C_V + R$ esa hamma vaqt o'rinlidir.

4-MA'RUZA. ISSIQLIK VA HARORAT. MUTLOQ TEMPERATURANI ANIQLASH. TEMPERATURANI O'LCHASH USULLARI VA TERMOMETRLAR. TEMPERATURANING IMPERIK SHKALALARI VA ULAR O'RTASIDAGI BOG'LANISH. TERMOMETRIK JISM VA TERMOMETRIK KATTALIKLAR.

Reja.

1. Molekulyar kinetik (statistik) va termodinamik usul.
2. Muvozanatli jarayonlar va ularni termodinamik diagrammada tasvirlash.
3. Farengeyt harorat shkalasi. Selsiy shkalasi. Kelvin shkalasi. Termometrlar.
4. Molekulyar -kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.

Tayanch so'z va iboralar: tadqiqotlar, molekula, energiya, termodinamik parametr, holat tenglamasi, izotermik, izobarik, izoxorik, ideal gaz.

Molekulyar-kinetik va termodinamik usul. Molekulyar fizika va termodinamika jismlardagi mikroko'pik jarayonlarni ya'ni jismlar tarkibidagi ko'p miqdordagi atomlar va molekullar bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni o'rganadi. Bu jarayonlarni o'rganishda turli sifatli, lekin bir-birini o'zaro to'ldiradigan ikki usul qo'llaniladi.

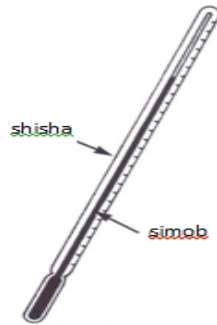
3. Statistik (molekulyar-kinetik) usul.
4. Termodinamik usul.

Modda tuzilishini va uni xossalarini molekulyar-kinetik tasavvurlar asosida, ya'ni molekullar hamma vaqt betartib harakat holatida bo'lishlari va molekullar orasida o'zaro ta'sir kuchlari mavjudligi asosida tushuntiruvchi fizikaning bo'limiga **molekulyar fizika** deyiladi.

Tizimni tashkil etuvchi juda ko'p sonli zarralarning ularning dinamik nuqtai nazardan xarakterlovchi fizik kattaliklar yordamida tizim xususiyatlarini o'rganish usuli **statistik yoki molekulyar kinetik** usul deyiladi. Tizimning fizik xususiyatlarini **termodinamik usul** bilan o'rganadigan fizikaning bo'limi **termodinamika** deb ataladi. Energiyani bir- turdan boshqa turga o'tishi va energiya hisobiga ish bajarish bilan bog'liq bo'lgan texnik muammolarning juda katta qismi termodinamik nuqtai nazardan tekshirib hal qilinishi mumkin.

Fizika hodisalarni o'rganishda bir yo'la ham statistik va ham termodinamik usullardan foydalanish natijasida olingan ma'lumotlar bir- birini to'ldiradi. Chunki termodinamik usul orqali hodisani o'rganishda tizimning tuzilishi va uni tashkil etuvchi zarralarning harakatlanish qonunlari hisobiga olinmaydi. Statistik usul esa ko'zatilayotgan hodisani tushunishga va bu hodisani tizimdagi zarralarning qanday xususiyatlariga bog'liq ekanligini aniqlashga yordam beradi.

Muvozanatli jarayonlar va ularni termodinamik diagrammada tasvirlash. Har qanday bir jinsli jismning holatini xarakterlovchi parametrlar ma'lum qonuniyat bo'yicha o'zaro bog'langan bo'ladi. Ulardan birining o'zgarishi boshqa parametrlarni o'zgarishga olib keladi. Masalan aniq massaga ega bo'lgan gazning muvozanatli holati P - bosim, V - hajm va T - haroratdan iborat **parametrlar** orqali to'la ravishda ifodalanadi.



Farengeyt harorat shkalasi. Farengeyt harorat shkalasi ikki nuqta asosida aniqlanadi: toza suvning mo‘zlash nuqtasi 32°F va suvning qaynash nuqtasi 212°F .

- Toza suvning mo‘zlash va qaynash nuqtalari orasida qancha Farengeyt darajalari* mavjud? _____
- 0°F haroratdagi suv qanday holatda bo‘ladi? _____
Javoblar: (a)180; (b) mo‘z holatida (harorat mo‘zlash nuqtasidan 32 gradus past)

Selsiy shkalasi. Selsiy shkalasi garchi Farengeyt shkalasidek taxminiy aniqlansada, u ham harorat o‘lchovining bir turi. Aynan shu shkala dunyo tizimi shkalasi hisoblanadi. U ikki asosiy nuqta, suvning mo‘zlash nuqtasi 0°C va qaynash nuqtasi 100°C dan iborat.

- Suvning mo‘zlash va qaynash haroratlari orasida qancha Selsiy darajalari mavjud? _____
- Yuqoridagi savolga javobingizni taqqoslang. Qaysi biri kattaroq? Farengeyt darajasi yoki Selsiy? _____
Javoblar: (a) 100; (b) Selsiy darajasi

Selsiy darajasi, Farengeyt darajasidan $\frac{180}{100}$ yoki _____ marta katta. Bu shkala qiymatlarini biridan ikkinchisiga aylantirayotganda, ularning mo‘zlash nuqtalari joylashuvi 32 Farengeyt darajasiga farq qilishini e’tiborga olish zarur. $^{\circ}\text{F}$ shkalasidan $^{\circ}\text{C}$ shkalasiga o‘tish uchun quyidagi tenglikdan foydalanishingiz mumkin:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$^{\circ}\text{C}$ shkalasidan $^{\circ}\text{F}$ shkalasiga o‘tish uchun esa:

$$^{\circ}\text{F} = \left(^{\circ}\text{C} \cdot \frac{9}{5}\right) + 32$$

- 77°F Selsiy shkalasida qanchaga teng? _____
- 35°C Farengeyt shkalasida qanchaga teng? _____
- -40°C Farengeyt shkalasida qanchaga teng? _____

Javoblar: (a) 25°C yechish: $(77 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 45 \cdot \frac{5}{9} = 25$;

(b) 95°F yechish: $\left(35 \cdot \frac{9}{5}\right) + 32 = 63 + 32 = 95$; (c) -40°F .

Yechish: $\left(-40 \cdot \frac{9}{5}\right) + 32 = -40$ (faqatgina shu yerda Farengeyt va Selsiy darajalari tenglashadi)

Kelvin shkalasi. Ma’lumki, mumkin bo‘lgan eng sovuq harorat bu $-273,15^{\circ}\text{C}$. Biz bu nuqtaga oxirgi shkalamizning nol nuqtasini joylashtiramiz. Shuningdek uning boshqa nuqtalariga

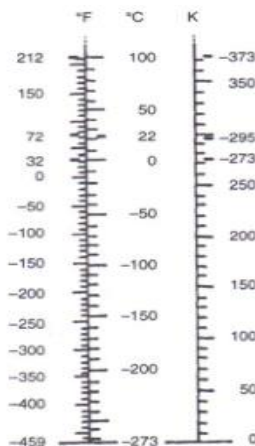
tarif berishning zarurati yoq, u shunchaki Selsiy shkalasining bir ko‘rinishi kabi. Shunday ekan, suvning mo‘zlash harorati Kelvin shkalasi bo‘yicha $-273,15\text{ K}$. (Bu shkalada daraja belgisi mavjud emas; 290 K bu 290 Kelvin o‘qiladi).

Kelvin va Selsiy shkalalarini biridan ikkinchisiga aylantirish juda oson: Selsiy shkalasiga faqatgina $273,15$ qo‘shilishi kifoya.

- Kelvin shkalasi bo‘yicha suvning qaynash harorati qanchaga teng? _____
- 95°F Kelvin shkalasida qanchaga teng? _____
- 500 K Selsiy shkalasida qanchaga teng? _____

Javoblar: (a) $373,15\text{ K}$; (b) $308,15\text{ K}$ (birinchi $^{\circ}\text{C}$ ga aylantirib oling: 35°C); (c) $226,85\text{C}$

Kelvin shkalasi qolgan ikki shkala kabi asossiz emas, chunki u tabiatda mumkin bo‘lgan eng sovuq harorat nuqtasidan boshlab o‘lchanadi. Kelvin shkalasidan, ilmiy terminlardan tashqarida kamdan kam foydalaniladi. Quyidagi rasmda bu uch harorat o‘lchash shkalalari tasvirlangan:



Rasmdan foydalanib quyidagilarni aniqlang:

- 32F Selsiy shkalasida qanchaga teng? Kelvin shkalasidachi? _____
- 22°C harorat Farengeyt shkalasida qanchaga teng? _____
- Farengeyt shkalasi bo‘yicha mumkin bo‘lgan eng sovuq harorat qancha? _____

Javoblar: (a) 0°C , 273K ; (b) 72°F – qulay harorat; (c) -459°F

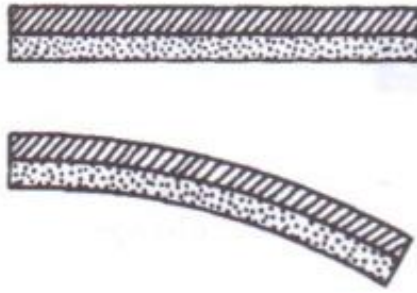
Termometrlar. Ko‘plab jismlar harorat ortishi bilan kengayadi. Binolar qurishda ham g‘ishtlarning issiq kunda kengayishi hisobga olinib tirqishlar qoldiriladi. (bu tirqishlar yumshoq tirqish to‘ldiruvchilar bilan to‘ldiriladi.) Nima sababdan turli materiallar bir xil haroratda turlicha kengayishi, hammaga ham ma‘lum emas. Lekin bu dalil, simob termometrlarida haroratni o‘lchash imkonini beradi.

Rasmda, termometr materialining harorati ko‘tarilganda nima sodir bo‘lishi ko‘rsatilgan. Simob va shisha bir vaqtda kengayadi, ammo, simob shishaga nisbatan ancha ko‘proq kengayadi. Agar simob issiqlik ta‘sirida kengaytirilsa, u ustun bo‘ylab yuqoriga ko‘tariladi. Ustun bo‘ylab joylashgan belgilar esa haroratni ko‘rsatadi.

- Agar shisha va simob shisha simobga nisbatan ko‘proq kengayganda, bu ustundagi simob darajasiga qanday ta‘sir ko‘rsatardi? _____
- Harorat pasaysa simob torayadi, haroratning yanada pasayishi shishaning ham torayishiga olib keladi. Bu holatda ustundagi simob holati qanday o‘zgaradi? _____

Javoblar: (a) U pasayib ketardi; (b) U pasayadi

Quyidagi rasmda ikki turli metallarning birgalikda “2 metalli lenta” shakliga keltirilganligi ko‘rsatilgan. Tasavvur qiling, bu metallar qizdirilganda, yuqoridagi metal pastdaxisiga nisbatan ko‘proq kengayadi va bu “lenta” 2-rasmda ko‘rsatilgani kabi egiladi. Bunday turdagi “ikki metalli lentalar” pechlarning devor markazi termometrlarining termostatlariga o‘rnatiladi.



- a) Agar yuqoridagi metallar issiqlik ta'sirida bir xil kengayganda, nima sodir bo'ladi?
- b) Agar metallar qizdirilganda, pastdagi metal yuqoridagisiga nisbatan ko'proq kengaysa, lenta bo'qilishi qanday bo'ladi? _____

Javoblar: (a) lenta egilmaydi; (b) lenta yuqoriga qarab qayriladi – pastdagi metal qayrilishi yuqoriga bo'ladi.

Ko'plab materiallarning kengayish miqdori harorat ko'tarilishiga deyarli proporsional bo'ladi. Misol uchun, agar temir sim harorati 15 °C ga ko'tarilganda u 1 mm ga o'zaysa, 30 °C ga ko'tarilganda esa 2 mm ga o'zayadi. Harorat o'zgarishi natijasida kengayishni hisoblash quyidagi tenglamadan foydalaniladi:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

Bu yerda, Δl – uzunlik o'zgarishi, ΔT – harorat o'zgarishi, α – chiziqli kengayish termik koeffitsienti va u material turiga bog'liq. 8.1-jadvalda keng tarqalgan materiallarning kengayish koeffitsientlari keltirilgan:

8.1-Jadval

Material	α (har °C da)
Alyumin	0,000025
Jez	0,000018
Shisha	0,000003
Temir	0,000011

Yuqoridagi tenglama o'ng tomonidagi l kattalik bu jismning dastlabki uzunligi.

15 metr uzunlikdagi rels temiri, harorat -5C dan 25 °C ga o'zgarganda uning qanchaga kengayishini hisoblang.

- a) Yuqoridagi masalada harorat Selsiy shkalasi bo'yicha qanchaga o'zgardi?__
- b) Temir rels qanchaga kengayadi?_____
- c) Bu kengayishni mm da ifodalang. _____

Javoblar: (a) 30 °C ; b) 0,00495 m.

$$\Delta l = \left(\frac{0,000011}{\text{oC}} \right) \cdot 15\text{m} \cdot 30\text{oC} = 0,00495$$

Yechish:

c) 4,95 mm

9. Endi esa, sizda 3 fut uzunlikdagi misdan yasalgan haykal bor. Agar u xona haroratida (20°C) turgan bo'lsa va uning ustidan qaynab turgan suv quyilsa, uning balandligi qanchaga ortadi?

Tenglamani qiymatlar bilan to'ldiring.

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 0,000018 \cdot 3 \cdot 80 = 0,00432 \text{ fut}$$

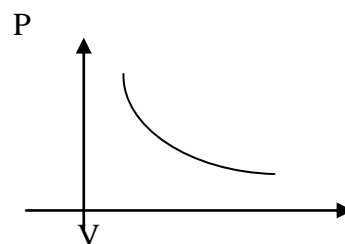
Yuqorida qayd qilingan parametrlardan bittasi o'zgaras bo'lganda qolgan ikkitasi orasidagi

bog'lanishni ifodalaydigan jarayonlar **izojarayonlar** (izo-teng, bir hil) deyiladi. Bular quyidagi qonunlarda o'z aksini topgan:

1. Boyle-Mariott qonuni. Harorat o'zgarmaganda berilgan gaz massasi uchun gazning bosimi uning hajmiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi, ya'ni $T = \text{const}$, $m = \text{const}$ bo'lsa

$$PV = \text{const} \quad (1)$$

Bu izotermik jarayon bo'lib, uni diagrammada (1-rasm) egri chiziq (giperbola) bilan tasvirlash mumkin. Bu egri chiziq **izoterma** deb ataladi.



1-rasm

2. Gey-Lyussak qonuni. Bosim o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasining hajmi haroratiga qarab

chiziqli ravishda o'zgaradi, ya'ni, $m = \text{const}$, $P = \text{const}$ bo'lsa $V = V_0(1 + \alpha t)$ (2)

Bunda yo'z beradigan jarayon **izobarik jarayon** deb ataladi va diagrammada to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi (2-rasm). Bu to'g'ri chiziq **izobara** deb ataladi.

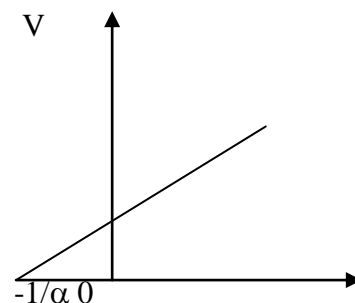
3. Sharl qonuni. Xajm o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasining bosimi

haroratga qarab chiziqli ravishda o'zgaradi, ya'ni $m = \text{const}$, $V = \text{const}$ bo'lsa

$$P = P_0(1 + \alpha t) \quad (3)$$

Bunday holda yo'z beradigan jarayon **izoxorik jarayon** deb ataladi va diagrammada to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi (3-rasm). Bu to'g'ri chiziq **izoxora** deb ataladi. Absolyut harorat bilan Selsiy shkalasi bo'yicha hisoblangan harorat

o'rtasida quyidagi munosabat o'rinli



$t^{\circ}\text{C}$

2-rasm

$$T = t_0 + 1/\alpha = t_0 + 273,15$$

bunda $t^{\circ} = T - 1/\alpha$ (4)

(2) va (3) tenglamalarda selsiy haroratida absolyut haroratga o'tamiz

$$V = V_0(1 + \alpha t^{\circ}) = V_0[1 + \alpha(T - 1/\alpha)] = \alpha V_0 T \quad (5)$$

va $P = P_0(1 + \alpha t^{\circ}) = P_0(1 + \alpha(T - 1/\alpha)) = \alpha P_0 T \quad (6)$

Bu tenglamalardan quyidagilar kelib chiqadi.

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 \quad (P = \text{const}) \quad (7)$$

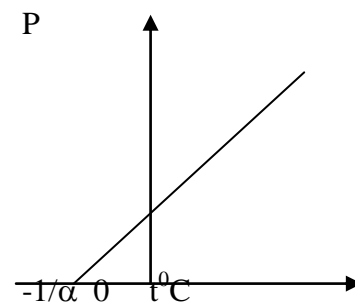
$$P_1/P_2 = T_1/T_2 \quad (V = \text{const}) \quad (8)$$

(1), (7), (8) tenglamalarga aniq bo'ysunadigan gaz **ideal gaz** deyiladi.

Gazni tashkil etuvchi molekullarning xususiy hajmlarini e'tiborga olmaslik va molekular orasidagi masofadan qat'iy nazar molekular o'zaro mutloq ta'sirlashmaydi deb hisoblanadigan **ideal gaz** deb ataladi.

Boyle-Mariott va Sharl tenglamalarini birlashtirib ideal gaz holatini tenglamasini topish mumkin.

$$PV = m RT/M \quad (9)$$



3-rasm

bunda M-gazning molyar massasi.

(9) ifoda m massali ideal gazning holat tenglamasi bo'lib uni odatda **Mendeleev-Klapeyron tenglamasi** deb ham ataladi.

Haroratni molekulyar kinetik izoxi. Molekulyar-kinetik nazariya nuqtai nazaridan muvozanatli termodinamik tizim harorati shu tizimni tashkil etgan atom, molekula va boshqa zarralar issiqlik harakati intensivligini xarakterlaydi.

$$\text{Masalan } W_k = 3 kT/2 \quad (1)$$

ga asosan harorat gaz molekularining ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasining o'lchovi. Bunda W_k haroratga proporsional ravishda o'zgaradi. Haroratni o'zgartirish barcha fizik hossalari ta'sir qiladi. Bunda jismlarning uzunligi, hajmi, zichligi, elastikligi, elektr o'tkazuvchanligi harorat ta'sirida o'zgaradi.

Haroratni miqdoriy jihatdan aniqlash uchun odatda moddalarning hajmi kengaishini haroratga bog'liqligiga asoslanib ishlaydigan termometrlar keng qo'llaniladi. Selsiy gradusi bo'yicha termometr shkalasi chizishda hisob boshi qilib normal bosimda ($p = 1,01325 \cdot 10^5$ Pa) mo'zning erish harorati 0°C , ikkinchi nuqta sifatida suvning qaynash harorati (100°C) olingan. Bu nuqtalar orasi 100 ta teng bo'laklarga bo'lingan va bunday shkala bir bo'lagining qiymati 1°C .

Termodinamik harorat shkalasida harorat Kelvinda ifodalanadi va T orqali belgilanadi. Kelvin shkalasini to'zishda normal atmosfera bosimidagi mo'zning erish harorati 273,15 K deb qabul qilingan. Shuning uchun termodinamik harorat bilan Selsiy orasidagi munosabat

$$T = t + 273,15^\circ\text{C}$$

$T = 0^\circ\text{K}$ (Selskiy shkalasi bo'yicha $t = -273,15^\circ\text{C}$) harorat absolyut **nol harorat** deb ataladi.

Energiyani erkinlik darajasi bo'yicha tekis taqsimlanishi. Ma'lumki gaz molekularining ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi $W_k = 3kT/2$ (1), k-Bolsman doimiysi. Molekulalarning kinetik energiyasi, umuman, ularning ilgarilanma harakat kinetik energiyasi, molekularning aylanish va tebranish kinetik energiyalarning yig'indisidan iborat. Molekulalarning barcha turdagi harakatlariga to'g'ri keladigan energiyani hisoblash uchun erkinlik darajasi degan tushincha kiritiladi. Jismning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun zarur bo'lgan erkli koordinatalarning soniga jismning **erkinlik darajasi** deyiladi. Moddiy nuqtaning fazodagi vaziyati, uchta koordinata bilan (x,y,z,) aniqlanadi. Demak, moddiy nuqtaning erkinlik darajasi uchga teng. (1) ifodaga asosan molekularning uchta erkinlik darajasiga ega bo'lgan

ilgarilanma harakatiga to'g'ri keladigan energiya $U = \frac{3}{2} kT$ (2)

Demak, hisoblashlar shuni ko'rsatadiki bir atomli molekulaning erkinlik darajasi 3 ga teng (x,y,z,), ikki atomli molekula erkinlik darajasi 5 ga (x,y, z, α, β) yoki 6 ga teng (x,y, z, α, β, ℓ). N atomdan tashkil topgan molekulaning erkinlik darajasi 6 dan 3N gacha qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Absolyut qattiq jismning erkinlik darajasi 6 ga teng (x,y,z, α, β, γ). Molekulaning erkinlik darajasi i ni ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlar erkinlik darajalarining yig'indisidan iborat deb qarash mumkin.

$$i = i_{ilg} + i_{ayl} + i_{tebr}$$

Ilgarilanma harakatda erkinlik darajasi 3 ga teng ekanligini e'tiborga olib, ilgarilanma harakatning har bir erkinlik darajasiga $\frac{1}{2} kT$ energiya to'g'ri keladi degan xulosaga kelamiz.

Statistik fizikaning muhim qonunlaridan biri-energiyaning erkinligi darajasi bo'yicha bir xilda taqsimlanish qonuni ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatning har bir erkinlik darajasiga

o'rtacha $\frac{1}{2}kT$ kinetik energiya to'g'ri kelishini ko'rsatadi.

U holda erkinlik darajasi i bo'lgan molekulaning to'liq energiyasi

$$U_i = \frac{i k T}{2} = i \left(\frac{R}{N_A} \right) T/2$$

1 mol gazning ichki energiyasi

$$U_0 = \frac{i}{2} RT$$

Ixtiyoriy m massali gaz ichki energiyasi

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

Demak, ideal gazning ichki energiyasi shu gazni tashkil etuvchi molekulalarning erkinlik darajasiga va gazning haroratiga bog'liq ekan.

Nazorat savollar

1. Molekulyar kinetik va termodinamik usul.
2. Ideal gaz. Termodinamik parametrlar.
3. Izotermik jarayon. Izoterma nima.
4. Izobarik jarayon. Izobara nima.
5. Izoxorik jarayon. Izoxora nima.
6. Ideal gaz holat tenglamasi.
7. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi

5-MA'RUZA. IDEAL GAZNING HOLAT TENGLAMASI. IDEAL GAZ QONUNLARI.

Reja:

1. Ideal gaz. Gaz bosimi. Temperatura.
2. Holat parametrlarini o'lchash.
3. Ideal gaz holat tenglamasi.
4. Ideal gaz qonunlari. Broun harakati.

Tayanch tushunchalar: ideal gaz, holat parametrlari, holat tenglamasi.

Modda molekulalarining o'rtacha kinetik energiyasi shu modda uchun o'rinli bo'lgan potensial o'ra chuqurligidan ancha katta bo'lsa, bu modda gaz holatida bo'ladi. Gaz hususiy hajmga ega emas. Shu sababli, gaz miqdori qancha bo'lishidan qat'iy nazar, u o'zi turgan idishning butun hajmini egallaydi.

Tabiatda mavjud bo'lgan gazlar to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun ideal gaz tushunchasidan foydalaniladi. Ideal gaz tabiatda mavjud bo'lgan gazlarning modelidir. Shuning uchun u tabiatda mavjud emas. Ba'zi gazlarni ko'rilayotgan sharoitda qaysidir hususiyatlarini hisobga olmagan qolda ideal gaz deb hisoblash mumkin bo'ladi.

Har qanday gazni, jumladan ideal gazni 3 ta parametr harakterlaydi. Bular bosim, hajm va temperaturadir. Ushbu parametrlarni gazning holat parametrlari deyiladi.

Ideal gazning massasi va holat parametrlaridan biri o'zgarmas bo'lganda shu gazda kechadigan processga izoprocess deyiladi. 3ta izoprocess mavjud: izotermik, izobarik va izohorik process. Izotermik processda temperatura, izobarik processda bosim va izohorik processda hajm o'zgar olmaydi. Ushbu izoprocesslarga 3 ta ideal gaz qonuni mos keladi.

Gazning barcha holat parametrlarini bir vaqtda o'zgarishini ifodalovchi tenglamaga gazning holat tenglamasi deyiladi. Ideal gazning 2 ta holat tenglamasi mavjud: Klapeyron va Mendeleev-Klapeyron tenglamasi.

Agar ikki yoki undan ortiq gaz bir hil sharoitda turgan bo'lsa, bu gazlarning konsentrasiyalari bir hil bo'ladi. Bu qonunga Avogadro qonuni deyiladi.

Muvozanat holatda turgan termodinamik sistemaning barcha parametrlari ham mustaqil emasligini isbot qilish mumkin: bunday sistemaning ichki parametrlari faqat uning tashqi parametrlariga va temperaturaga bog'liq bo'ladi. Sistemaning ixtiyoriy termodinamik parametrini mustaqil o'zgaruvchi sifatida qabul qilingan parametrlari bilan o'zaro bog'lovchi tenglamaga *holat tenglamasi* deyiladi. Bir jinsli jismning bosimi p , hajmi V va temperaturasi T ni o'zaro bog'lovchi holat tenglamasiga *termodinamik holatning termik tenglamasi* deyiladi:

$$f(p, V, T) = 0 \quad (8.1)$$

Termodinamikada f funksiyaning aniq ko'rinishi tajribadan ma'lum deb hisoblanadi. Holat tenglamasi nazariy jihatdan faqat statistik fizika usullari bilan keltirib chiqariladi. Hozirgi zamon fizikasida taqiqotning statistik va termodinamik usullari orasidagi bog'liqlik mana shundan iboratdir.

(8.1) holat tenglamasi tashqi maydon mavjud bo'lmaganda yagona tashqi parametri V hajm bo'lgan *sodda sistemalarning* xossalarini ifodalaydi.

Temperaturaning turli hil shkalalaridan foydalaniladi. Farangeyt, Selsiy, Kelvin, Ryomer va boshqa temperature shkalalari mavjud. Ushbu shkalalar o'zaro quyidagicha bog'langan.

$$^{\circ}\text{F} = 32.0 + (9/5)^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32.0)(5/9)$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

Termodinamikadan ideal gaz termik holat tenglamasi bilan qarab chiqiladigan eng sodda ob'ekt hisoblanadi.

Ideal gaz deb, molekulari hisobga olmaydigan darajada kichik xususiy hajmga ega bo'lgan va masofadan o'zaro ta'sirlashmaydigan gazlarga aytiladi.

Real gazlarda molekulararo tortishish va itarishish kuchlari mavjud. Muhimi, bu kuchlar birgalikda ta'sir qiladi. Agar bu kuchlardan biri ishtirok etmasa, masalan, itarishish kuchlari yo'q bo'lsa, u holda barcha molekular tortishish kuchlari ta'sirida bir-biriga yopishib qolib, gazning o'zining mavjud bo'lishi ham mumkin bo'lmay qolardi. Itarishish kuchlari molekularning idish devorlari va bir-biri bilan o'zaro to'qnashishida namoyon bo'ladi. Biz keyinchalik molekular o'zaro to'qnashishda o'zini gazning kiyomviy tarkibiga bog'liq bo'lgan g diametrli absolyut elastik sharlar kabi tutishini ko'rib o'tamiz. Molekulaning bu effektiv diametri molekular orasida itarishish kuchlari mavjudligidan dalolat beradi. Agar bu kuchlar bo'lmaganda edi, molekular hohlagancha kichik masofalargacha yaqinlashishlari mumkin bo'lardi. Xaqiqatda ma'lum bo'ldiki, turli gazlar molekularining effektiv diametrlari 10^{-10} m tartibidagi kattalik ekan.

Molekulararo tortishish kuchlari katta masofalarda, itarish kuchlariga qaraganda ustun keladi. Lekin bu kuchlar ham, molekular orasidagi masofa r ortishi bilan tez kamayib boradi va $r > 10^{-9}$ m bo'lganda deyarli nolga bo'ladi. Shuning uchun molekular orasidagi o'rtacha masofa qancha katta, ya'ni molekular konsentratsiyasi va unga mos holda gazning zichligi qancha kichik bo'lsa, real gaz xossalari jihatidan, ideal gazga shuncha yaqin bo'ladi.

Normal sharoitda, ya'ni $p_0 = 101325$ Pa bosim va $T_0 = 273.15$ K temperaturada ko'p gazlarni (masalan, vodorod, geliy, neon, azot, kislorod, havo va boshqalar) ideal gazga juda yaqin deb hisoblash mumkin. Xaqiqatdan ham bunday sharoitda gaz molekularining konsentratsiyasi $n_0 \sim 10^{25}$ m⁻³ tartibida, molekular orasidagi o'rtacha masofa esa

$$\langle r \rangle \sim \sqrt[3]{\frac{1}{n_0}} \sim 10^{-8} \text{ m}$$

shunchalik kattaki, tortishish kuchlarini hisobga olmaslik mumkin, 1 m^3

hajmdagi hamma $n \sim 10^{25}$ ta molekularning jami xususiy hajmi $n\pi d^3 / 6 \sim 10^{-5} \text{ m}^3 \ll 1 \text{ m}^3$. Shuning uchun molekularning o'zining hajmini hisobga olmasa ham bo'ladi. Shu bilan birga hajmi 1 m^3 bo'lgan idishdagi barcha molekularning yig'indi sirtining yuzasi $n\pi d^2 \sim (10^{-5} \div 10^6) \text{ m}^2 \gg 1 \text{ m}^2$, ya'ni idish devorining yuzasidan bir necha marta katta. Bu

shuni bildiradiki, gazlarda molekullarning effektiv diametrini d kichikligiga qaramasdan, molekullar orasidagi o'zaro to'qnashishlar soni idish devorlariga urilish sonidan ancha katta bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda molekullar hajmini hisobga olmaslikning mumkinligi gaz zarralari orasidagi o'zaro to'qnashishlarni e'tiborga olmaslikni bildirmaydi.

O'rta maktab kursida gaz holatining *Klapeyron tenglamasi* deb ataluvchi ideal gaz holatining termik tenglamasi ko'riladi:

$$pV/T = C = \text{const} \quad (8.2)$$

Ideal gazning berilgan massasi uchun bosim bilan hajm ko'paytmasini termodinamik temperaturaga nisbati o'zgarmas kattalikdir.

Gaz doimiysi C gazning kimyoviy tarkibiga bog'liq va uning massasiga proporsional. Klapeyron tenglamasi (8.2) ni $V = m\nu$ bo'lganligidan, bu yerda ν solishtirma hajm,

$$p\nu = BT \quad (8.3)$$

shaklda qayta yozish mumkin. Bu yerda $B = C/m$ - solishtirma gaz doimiysi bo'lib, u faqat gazning kimyoviy tarkibiga bog'liq.

Modda miqdori birligining ta'rifidan kelib chiqadiki, har qanday gazning 1 moli *Avogadro doimiysi* deb ataluvchi aynan bir xil sondagi molekullardan tashkil topadi: $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Agar m_0 - bitta molekulaning massasi bo'lsa, ixtiyoriy ν modda miqdorining massasi

$$m = m_0 N_A \nu = M\nu$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda $M = m_0 N_A$ - gazning molyar massasi bo'lib, u gazning massasini unda mavjud bo'lgan modda miqdori ν ga nisbatiga teng: $M = m/\nu$.

Molyar hajm deb $V_m = \frac{V}{\nu}$ kattalikka aytiladi. (8.2) holat tenglamasini

$$V_m \nu = CT \quad \text{yoki} \quad pV_m = RT \quad (8.4)$$

shaklda qayta yozamiz. Bu yerda $R = \frac{C}{\nu} = MB$ - molyar gaz doimiysi. *Avogadro qonuniga ko'ra, bir xil bosim va temperaturada har xil gazlarning molyar hajmlari bir xil bo'ladi.*

Bu qonundan va (8.4) tenglamadan molyar gaz doimiysi R ni barcha gazlar uchun bir xil ekanligi kelib chiqadi. Shuning uchun uni *universal gaz doimiysi* deb atash qabul qilingan. Tajribaga $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ekanligi aniqlangan.

Ixtiyoriy massali gaz uchun (8.4) formulani boshqacha ko'rinishda yozish mumkin:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (8.5)$$

Ideal gaz holat termik tenglamasini bunday umumiy yozilish shakli *Klapeyron-Mendelev tenglamasi* deyiladi. Unda gazning zichligi uchun

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{p}{BT} \quad (8.6)$$

formula kelib chiqadi.

(8.4) tenglamani yana bir ko'rinishi qo'llaniladi. *Boltsman doimiysi* k ni kiritamiz, u universal gaz doimiysi R ni Avogadro doimiysi N_A ga nisbatiga teng:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K.}$$

U holda (8.4) formuladan

$$p = \frac{kN_A}{V_m} T = kn_0 T \quad (8.8)$$

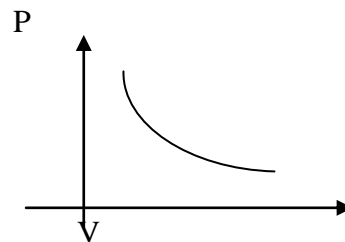
formulani olamiz, bu yerda $n_0 = N_A/V_m$ - gaz molekullarining konsentratsiyasi.

Yuqorida qayd qilingan parametrlardan bittasi o'zgarmas bo'lganda qolgan ikkitasi orasidagi bog'lanishni ifodalaydigan jarayonlar **izojarayonlar** (izo-teng, bir hil) deyiladi. Bular quyidagi qonunlarda o'z aksini topgan:

1. Boyle-Mariott qonuni. Harorat o'zgarmaganda berilgan gaz massasi uchun gazning bosimi uning hajmiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi, ya'ni $T = \text{const}$, $m = \text{const}$ bo'lsa

$$PV = \text{const} \quad (1)$$

Bu izotermik jarayon bo'lib, uni diagrammada (1-rasm) egri chiziq (giperbola) bilan tasvirlash mumkin. Bu egri chiziq **izoterma** deb ataladi.



1-rasm

2. Gey-Lyussak qonuni. Bosim o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasining hajmi haroratiga qarab

$$\text{chiziqli ravishda o'zgaradi, ya'ni, } m = \text{const}, P = \text{const} \text{ bo'lsa } V = V_0(1 + \alpha t) \quad (2)$$

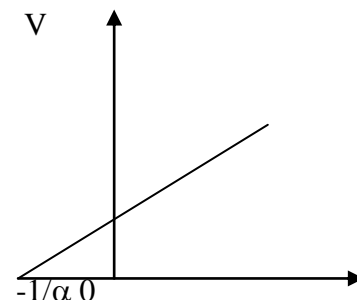
Bunda yo'z beradigan jarayon **izobarik jarayon** deb ataladi va diagrammada to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi (2-rasm). Bu to'g'ri chiziq **izobara** deb ataladi.

3. Sharl qonuni. Xajm o'zgarmas bo'lganda berilgan gaz massasining bosimi

$$\text{haroratga qarab chiziqli ravishda o'zgaradi, ya'ni } m = \text{const}, V = \text{const} \text{ bo'lsa } P = P_0(1 + \alpha t) \quad (3)$$

Bunday holda yo'z beradigan jarayon **izoxorik jarayon** deb ataladi va diagrammada to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi (3-rasm). Bu to'g'ri chiziq **izoxora** deb ataladi. Absolyut harorat bilan Selsiy shkalasi bo'yicha hisoblangan harorat

o'rtasida quyidagi munosabat o'rinli



$t^{\circ}\text{C}$

2-rasm

$$T = t_0 + 1/\alpha = t_0 + 273,15$$

$$\text{bunda } t^{\circ} = T - 1/\alpha \quad (4)$$

(2) va (3) tenglamalarda selsiy haroratida absolyut haroratga o'tamiz

$$V = V_0(1 + \alpha t^{\circ}) = V_0[1 + \alpha(T - 1/\alpha)] = \alpha V_0 T \quad (5)$$

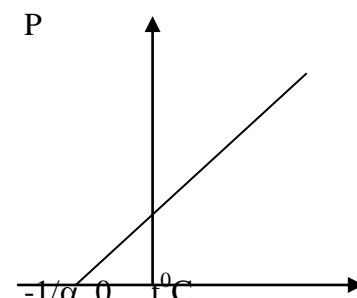
$$\text{va } P = P_0(1 + \alpha t^{\circ}) = P_0(1 + \alpha(T - 1/\alpha)) = \alpha P_0 T \quad (6)$$

Bu tenglamalardan quyidagilar kelib chiqadi.

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 \quad (P = \text{const}) \quad (7)$$

$$P_1/P_2 = T_1/T_2 \quad (V = \text{const}) \quad (8)$$

(1), (7), (8) tenglamalarga aniq bo'ysunadigan gaz **ideal gaz** deyiladi.



3-rasm

Biz yuqorida holat tenglamasini ko'rib o'tgan ideal gaz haqidagi tushuncha modellashtirilgan tassavur edi. Bna ko'rsatib o'tildiki, o'zining xossalariga ko'ra oddiy bo'lgan gazlarni ham faqat taxminan ideal deb hisoblash mumkin. Ideal gaz modeli gaz xossalarini kinetik nazariya bilan sodda holda o'rganishga imkon beradi. Fizikada qator boshqa modellardan ham foydalaniladi (masalan, moddiy nuqta, nuqtaviy elektr zaryadi modeli va boshqalar). Fizikada har xil modellarning qo'llanilishi bitta maqsadni ko'zda tutadi. U ham bo'lsa, ma'lum bir guruh hodisalarni shunday o'rganish kerakki, hodisani murakkablashtiradigan bir qator real sharoitlarni abstrakshtiyalash (idrok etish) mumkin bo'lsin. Masalan, ideal gaz modelida biz real atom va molekula elektr zaryadiga ega bo'lgan zarralardan (elektronlar, protonlar), hamda neytronlardan

tarkib topgan murakkab struktura ekanini hisobga olmaymiz. Ideal gaz modelida atom va molekularning o'zaro ta'siri sodda to'qnashish sifatida qaraladi, aslida juda murakkab hodisalarni o'z ichiga oladi. Kursning elektrodinamika va atom fizikasiga bag'ishlangan bo'limlarida biz bu hodisalarni o'rganib chiqamiz. Ideal gaz modelidan fizikada keng foydalaniladi. Masalan, elektrodinamikada metallarning elektr o'tkazuvchanligini o'rganishda erkin elektronlar klassik yaqinlashishda ideal elektron gaz deb hisoblanadi. Bu, elektronlarning bir-biri bilan va kristall panjara musbat ionlari bilan o'zaro elektromagnit ta'sirini hisobga olmay oddiy urilish deb qarashga imkon beradi. Tokli o'tkazgichni magnit maydonida harakatlanishida yuz beradigan hodisasini o'rganishda ham ideal elektron gaz modelidan foydalaniladi. Ideal gaz modelini qo'llanilishi to'g'risidagi misollar sonini ko'paytirish mumkin, lekin bunga zaruriyat yo'q.

Sharl va Boyllarning tajribalari natijasidan quyidagicha munosabat kelib chiqadi: Yuqoridagi tenglamadagi doimiy qiymat ideal gaz doimiysi hisoblanib, u R harfi bilan ifodalanadi. Demak biz yuqoridagi ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

Ideal gaz doimiysining qiymati o'zgarmas va u quyidagi jadvaldagi qiymatlar orqali hisoblab topiladi[:

6-MA'RUZA. BAROMETRIK FORMULA. BOLSMAN TAQSIMOTI. BOLSMAN TAQSIMOTINI TAJRIBADA TEKSHIRISH. BROUN HARAKATI.

Reja:

1. Barometrik formula.
2. Bolsman taqsimoti
3. Bolsman taqsimotini tajribada tekshirish.
4. Broun harakati.

Gazli sistemadagi zarralar turli tezliklar bilan turli yo'nalishlarda harakatlanadi. Bu bo'limda zarralarni tezliklar bo'yicha taqsimlanish statistik qonunini keltirib chiqaramiz.

Gazdagi zarralarning ko'plab to'qnashuvlari tufayli ularning tezliklari son jihatdan ham, yo'nalish jihatdan ham tasodifiy ravishda o'zgarib turadi. SHuning uchun zarra tezligini tasodifiy miqdor sifatidagina, ehtimollik tushunchasi bilan o'rganish mumkin. Tasodifiy miqdorlarni tasniflashni matematik metodlari haqida kitobning ilovasida tanishingiz mumkin.

Bitta zarrani x o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_x , $\mathcal{G}_x + d\mathcal{G}_x$ oraliqda bo'lish ehtimolligi oraliq kengligiga proporsionaldir:

$$dW(\mathcal{G}_x) = f(\mathcal{G}_x)d\mathcal{G}_x$$

Zarraning tezligi \mathcal{G} yoki $-\mathcal{G}$ bo'lishi teng kuchlidir, shuning uchun ehtimollik zichligi funktsiyasi f tezlikka nisbatan juft funktsiya bo'lishi kerak:

$$dW(\mathcal{G}_x) = f(\mathcal{G}_x^2)d\mathcal{G}_x \quad (1)$$

SHunga o'xshash zarraning y o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_y , $\mathcal{G}_y + d\mathcal{G}_y$ oraliqda, z o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_z , $\mathcal{G}_z + d\mathcal{G}_z$ oraliqda bo'lishi ehtimolliklarini yozishimiz mumkin:

$$dW(\mathcal{G}_y) = f(\mathcal{G}_y^2)d\mathcal{G}_y, \quad dW(\mathcal{G}_z) = f(\mathcal{G}_z^2)d\mathcal{G}_z \quad (2)$$

Maksvell tomonidan kiritilgan gipotezaga ko'ra, zarraning uch yo'nalishdagi tezliklari o'zaro bog'liq bo'lmagan, erkin hodisalar deyiladi. Unda ehtimolliklarni ko'paytirish qoidasiga ko'ra, zarraning tezligi $\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z$ tezliklar atrofida $d\mathcal{G}_x, d\mathcal{G}_y, d\mathcal{G}_z$ intervallarda bo'lishi ehtimolligi quyidagicha ifodalanadi:

$$dW(\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z) = f(\mathcal{G}_x^2)f(\mathcal{G}_y^2)f(\mathcal{G}_z^2)d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z \quad (3)$$

Tezlikni tashkil etuvchilari $\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z$ bilan, umumiy tezlik quyidagicha bog'langan:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\mathcal{G}_x^2 + \mathcal{G}_y^2 + \mathcal{G}_z^2} . \quad (4)$$

Bu miqdor ham tasodifiy bo'lgani uchun, uning ehtimolligini yozishimiz mumkin:

$$dW(\mathcal{G}) = F(\mathcal{G}^2)d\vec{\mathcal{G}}, \quad d\vec{\mathcal{G}} = d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z \quad (5)$$

(3) va (5) ifodalarni solishtirib, quyidagi tenglikni xosil qilamiz:

$$F(\mathcal{G}^2) = f(\mathcal{G}_x^2)f(\mathcal{G}_y^2)f(\mathcal{G}_z^2) \quad (6)$$

Bu yerdagi noma'lum funktsiyalarni izlaymiz. Tenglikni har ikki tomonidan \mathcal{G}_x^2 bo'yicha xosila olaylik:

$$\frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}_x^2} = \frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}^2} \frac{\partial \mathcal{G}^2}{\partial \mathcal{G}_x^2} = \frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}^2}; \quad \frac{\partial f(\mathcal{G}_x^2)}{\partial \mathcal{G}_x^2} f(\mathcal{G}_y^2)f(\mathcal{G}_z^2) \quad (7)$$

Bularni tenglashtirib, (6) tenglikni mos hadlariga bo'lib olamiz:

$$\frac{1}{F(\mathcal{G}^2)} \frac{\partial F(\mathcal{G}^2)}{\partial \mathcal{G}^2} = \frac{1}{f(\mathcal{G}_x^2)} \frac{\partial f(\mathcal{G}_x^2)}{\partial \mathcal{G}_x^2} \quad (8)$$

Turli argumentli funktsiyalarni har doim tengligi – ularni doimiy songa tengligidan darak beradi, bu sonni $-\beta$ deb belgilasak, bir xil ekanligi ma'lum bo'lib qolgan F va f funktsiyalarni aniqlaymiz:

$$F(\mathcal{G}) = A^3 \exp(-\beta \mathcal{G}^2), \quad f(\mathcal{G}_x) = A \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) \quad (9)$$

Koeffitsientlarni (9) ifodada yozilganidek bog'lanishi (6) tenglikdan kelib chiqadi. Boshqa koordinata o'qlari bo'ylab taqsimot funktsiyasi $f(\mathcal{G}_x)$ kabi bo'ladi.

Normirovka shartidan A koeffitsientni topaylik:

$$A \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) d\mathcal{G}_x = 1, \quad A = \sqrt{\beta/\pi} \quad (10)$$

Demak, *bitta* zarraning turli tezliklarga ega bo'lish ehtimolligining zichligi:

$$F(\mathcal{G}) = \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \exp(-\beta \mathcal{G}^2), \quad f(\mathcal{G}_x) = \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) \quad (11)$$

Tezlikning moduliga bog'liq bo'lgan, sferik simmetrik fizik miqdorlar $F(\mathcal{G})$ funktsiyasi yordamida o'rtachalashtiriladi, integral $d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z$ o'zgaruvchilar bo'yicha hisoblanadi, yoki sferik koordinatalarni qo'llab, burchaklar bo'yicha integrallashni amalga oshirsak:

$$\iiint F(\mathcal{G}) d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z = \int F(\mathcal{G}) \mathcal{G}^2 d\mathcal{G} \int \int \sin\theta d\theta d\varphi = 4\pi \int_0^{\infty} F(\mathcal{G}) \mathcal{G}^2 d\mathcal{G}$$

SHunday qilib, integrallash faqat $d\mathcal{G}$ bo'yicha bajarilishi uchun, $F(\mathcal{G})$ Maksvell taqsimot funktsiyasi quyidagicha aniqlanishi kerak:

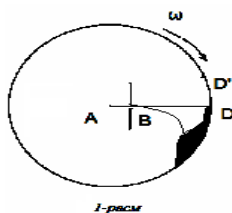
$$F(\mathcal{G}) = 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \mathcal{G}^2 \exp(-\beta \mathcal{G}^2) \quad (12)$$

Taqsimot funktsiyasini keltirib chiqarishda asosan ikki ma'lumotga asoslanildi: bu funktsiyaning tezlikka nisbatan juft funktsiya bo'lishi zarurati, hamda tezlik va uning komponentalari orasidagi $\mathcal{G} = \sqrt{\mathcal{G}_x^2 + \mathcal{G}_y^2 + \mathcal{G}_z^2}$ tabiiy munosabatga.

Topilgan taqsimot funktsiyalari *bitta* zarrani \mathcal{G} tezlikka ega bo'lish ehtimolligini zichligini bildiradi. Bu taqsimot funktsiyalarini sistemadagi zarralar soni N ga ko'paytirsak, ular tezligi \mathcal{G} ga teng bo'lgan zarralar sonini xarakterlovchi ehtimollik zichligini anglatadi.

Bu (11)-(12) ifodalarni **Maksvell taqsimot taqsimoti**(1860) deyiladi.

Maksvell taqsimotini temperatura bilan bog'liqligi



Maksvell taqsimot funktsiyasini temperatura bilan bog'lanishini topish niyatida § 2 dagi kabi kub devoridagi gaz bosimini tezliklari Maksvell taqsimotida bo'lgan bir xil massali zarralar uchun hisoblaylik.

(2.5) formulaga ko'ra N ta zarraning devorga bosimi $P = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N m g_{ix}^2$. Yig'indini integral bilan almashtirib, taqsimot funksiyasi bo'yicha o'rtachalashtirsak:

$$P = \frac{Nm}{V} \int_{-\infty}^{\infty} g_x^2 f(g_x) dg_x = 2nm \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \int_0^{\infty} g_x^2 \exp(-\beta g_x^2) dg_x$$

Bu yerda:
$$\int_0^{\infty} g_x^2 \exp(-\beta g_x^2) dg_x = \frac{1}{\beta^{3/2}} \int_0^{\infty} x^2 \exp(-x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\beta^{3/2}}$$

Demak:
$$P = 2mn \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \frac{\sqrt{\pi}}{4\beta^{3/2}} = \frac{mn}{2\beta} \quad (1)$$

Natijani holat tenglamasi $P = nkT$ bilan solishtirib, β ni topamiz
$$\beta = m / 2kT \quad (2)$$

SHunisi diqqatga sazovorki, taqsimot funksiyasidagi eksponenta ko'rsatkichi $\beta g^2 = (m g^2 / 2) / kT$ zarraning kinetik energiyasi orqali ifodalanar ekan. Kelgusida zarralarning taqsimotida potentsial energiyaning ahamiyati ham tahlil etiladi.

Temperatura T ni (1) va (2) tengliklar orqali statistik xarakterga ega bo'lgan taqsimot funksiyasiga kirishi – uni statistik xarakterini belgilab beradi. Lekin 2-§ da temperatura tushunchasi kiritilayotganda uni “sistemaning bir erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan o'rtacha energiya” deb ta'riflanishi ham uni statistik xarakterini tasdiqlaydi.

Gaz molekullarini tezliklar bo'yicha taqsimoti Maksvell taqsimotiga mos kelishi bir necha bor qo'yilgan maxsus tajribalarda tasdiqlangan. Birinchi tajribalar **O.Shtern** tomonidan 1920 yilda qo'yilgan edi. Molekulalarni manbai sifatida kumush bilan qoplangan elektr toki bilan qizdirilgan platina sim olingan. Sim yuqori haroratgacha qizdirilganda ($962^{\circ}S$), kumush intensiv bug'langan, kumush atomlari issiqlik harakati tezligi bilan uchib chiqqan. Kumush atomlarini harakatiga to'sqinlik qilmasligi uchun qurilma vakuumga joylashtirilgan. Atomlar oqimi B tirqishdan o'tib (1-rasm), undan l masofadagi tashqi ekranda D iz qoldirgan.

Tajribani ikkinchi qismida butun qurilma qizdirilgan tola atrofida 2500-2700 aylana/minut tezlik bilan aylantirilgan. Aylantirish tufayli ilgari D nuqtaga kelib tushgan atomlar oqimi siljib, ekranning ekranning D nuqtaga kelib tushgan. Bu nuqtalar orasidagi s siljishni hisoblaylik. Kumush atomlarining tezligi g bo'lsa l masofaga yetib borishi uchun l/g vaqt kerak bo'lgan, bu vaqt ichida ω burchak tezligi bilan aylanayotgan ekran $s = (l/g)\omega R$ masofaga siljishga ulgurgan. Atomlarning tezliklari turlicha bo'lgani uchun, atomlarni ekrandagi izi D yoyilgan va notekis bo'lgan. Tajribada olingan s masofalar intervalini o'lchab, atomlarni o'rtacha tezligi hisoblangan. Bu tezlik ikkinchi bo'limdagi (2-14) formula bo'yicha hisoblangan o'rtacha kvadratik tezlik bilan sifat jihatdan mos keldi, atomlarni turli tezliklar bilan harakatlanishini tasdiqladi.

Shtern tajribasidagi qiyinchilik shundan iborat bo'lganki, o'lchanadigan s masofalar 1 mm atrofida bo'lib, D izlarni yoyilishi sonli o'rganilishi qiyin edi. SHuning uchun bu sohadagi tajribalar davom ettirildi. 1927 yilda Eldridj va Lammert molekullarni tezliklar bo'yicha taqsimotini o'rganish uchun yorug'lik tezligini o'lchash uchun Fizo tajribasidagi tishli g'ildiraklar metodini qo'llashdi. Miller va Kush 1955 yilda o'tkazishgan tajribalarida molekullar dastasidan bir xil tezlikli zarralarni ajratib olish uchun aylanuvchi tsilindrda burchak ostida joylashgan shunday tirqishlar teshishdiki, tsilindr ω tezlik bilan aylanayotganda bu tirqishdan faqat bir xil tezlikli zarralargina o'tgan. TSartman tomonidan o'tkazilgan boshqa tajribalarda esa atomlarni ekranda yoyilib tushishi shaffof ekranda o'rganildi, natijada izni nozik optik metodlar bilan o'rganish mumkin bo'ldi. Bu tajribalar zarralarni tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimotiga bo'ysinishini turli aniqliklar bilan tasdiqladi.

Maksvell taqsimoti yordamida ayrim muhim fizik kattaliklarni hisoblash

Maksvell taqsimot funksiyasini qo'llab topiladigan bir necha muhim fizik miqdorlarni ko'raylik. Ulardan biri – yuqorida absalut temperaturani ta'rifida ishlatilgan molekullarning

o'rtacha kvadratik tezligidir:

$$\mathcal{G}_{kv}^2 = \overline{\mathcal{G}^2} = 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} I_4, \quad I_4 = \int_0^{\infty} \mathcal{G}^4 \exp(-\beta \mathcal{G}^2) d\mathcal{G} = \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \int_0^{\infty} \exp(-\beta \mathcal{G}^2) d\mathcal{G}$$

Oxirgi integral Puasson integrali deb ataladi va $\sqrt{\pi/\beta}/2$ ga teng. Unda: $I_4 = 3\sqrt{\pi}/8\beta^{5/2}$, $\overline{\mathcal{G}^2} = 3/2\beta = 3kT/m$, yoki $\mathcal{G}_{kv} = \sqrt{3kT/m}$ bo'lib, ikkinchi bo'limdagi (2.14) natijaga mos keladi.

Molekulalarning o'rtacha tezligi $\bar{\mathcal{G}}$ ni topaylik:

$$\begin{aligned} \bar{\mathcal{G}} &= \int_0^{\infty} \mathcal{G} F(\mathcal{G}) d\mathcal{G} = 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \int_0^{\infty} \mathcal{G}^3 \exp(-\beta \mathcal{G}^2) d\mathcal{G} = \\ &= 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \frac{1}{\beta^2} \int_0^{\infty} x^3 \exp(-x^2) dx = \frac{2}{\sqrt{\pi\beta}} = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

(ohirgi integrall bo'laklab integrallanadi, natija $1/2$ ga teng chiqadi).

Bundan tashqari ehtimolligi eng katta bo'lgan \mathcal{G}_e tezlikni topaylik. Ekstremumlarni topishning umumiy qoidasiga ko'ra, (3.12) ifodadan tezlik bo'yicha xosila hisoblab, nolga tenglaymiz:

$$\begin{aligned} 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \frac{d}{d\mathcal{G}} [\mathcal{G}^2 \exp(-\beta \mathcal{G}^2)] &= 0, \quad 2\mathcal{G} \exp(-\beta \mathcal{G}^2) (1 - \beta \mathcal{G}^2) = 0 \\ \mathcal{G}_e &= \frac{1}{\beta^{1/2}} = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2} \end{aligned} \quad (4)$$

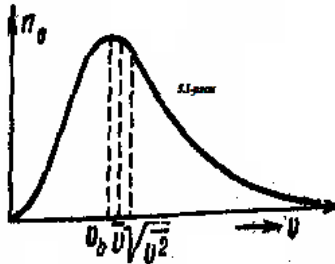
($\mathcal{G} = 0$ va $\mathcal{G} = \infty$ tezliklar ehtimollikni minimal qiymatiga to'g'ri keladi).

2-rasmda $F(\mathcal{G})$ Maksvell taqsimoti va uchta muhim tezliklar grafik tarzda tasvirlangan.

Tasodifiy miqdorlarning o'rtacha qiymatidan chetlashishini uning dispersiyasi xarakterlaydi:

$$\delta = \sqrt{\overline{\mathcal{G}^2} - \bar{\mathcal{G}}^2} \approx \mathcal{G}_e / 2 \quad (5)$$

Dispersiyaning kattaligi gaz molekulalarining tezliklari juda keng intervalda, noldan deyarli cheksizgacha bo'lishini ko'rsatadi.



2-rasm

Ayrim masalalarda harakatdagi ikki zarraning o'rtacha nisbiy tezligi kerak bo'ladi. Nisbiy tezlik $\mathcal{G}_{12} = |\bar{\mathcal{G}}_1 - \bar{\mathcal{G}}_2|$ ikkita tasodifiy miqdorga bog'liq bo'lib, uni o'rtachalashtirish uchun ikkala tasodifiy miqdorni ham Maksvell taqsimotini hisobga olinishi kerak:

$$\bar{\mathcal{G}}_{12} = \iint \mathcal{G}_{12} f(\mathcal{G}_1) f(\mathcal{G}_2) d\bar{\mathcal{G}}_1 d\bar{\mathcal{G}}_2 \quad (6)$$

Nisbiy tezlik bilan bir qatorda nisbiy kvadratik tezlikni o'rtacha qiymatini topish haqida masala qo'yilishi mumkin: $\mathcal{G}_{12}^2 = \mathcal{G}_1^2 + \mathcal{G}_2^2 - 2\mathcal{G}_1\mathcal{G}_2 \cos\theta$. Bu yerda θ ikki zarra tezliklari orasidagi burchakdir. $\bar{\mathcal{G}}_1$ va $\bar{\mathcal{G}}_2$ tezliklar turli yo'nalishlar bo'yicha simmetrik ehtimollikka ega bo'lgani uchun, ular orasidagi burchak $0 - 2\pi$ intervalda tekis taqsimlanadi, $\cos\theta$ funktsiya ishorasi o'zgaruvchi funktsiya sifatida bu oraliqda o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi, natijada $\overline{2\mathcal{G}_1\mathcal{G}_2 \cos\theta} = 0$,

$$\overline{\mathcal{G}_{12}^2} = \overline{\mathcal{G}_1^2} + \overline{\mathcal{G}_2^2} = 2\mathcal{G}_{kv}^2 = 6kT/m, \quad \sqrt{\overline{\mathcal{G}_{12}^2}} = \sqrt{2}\mathcal{G}_{kv} \quad (7)$$

(5) integralning yakuniy javobini keltiramiz:

$$\bar{\mathcal{G}}_{12} = \sqrt{2}\bar{\mathcal{G}}. \quad (8)$$

Boltsman taqsimoti

XIX asrning ikkinchi yarmida L.Boltsmaning qator ilmiy ishlarida ideal gazning

statistik qonunlari tekshirildi. Maksvell taqsimotida taqsimot funktsiyasi zarra kinetik energiyasiga bog'liq bo'lsa, Boltsman bo'yicha zarraning tashqi potentsial maydondagi energiyasi ham hisobga olinishi lozimdir:

$$f(\vec{g}, \vec{r}) = A \exp\left[-\left(mg^2/2 + U(\vec{r})\right)/kT\right] \quad (1)$$

Ushbu taqsimot funktsiyasi barcha tezliklar bo'yicha integrallab yuborilsa, gaz zarralari zichligining koordinataga bog'lanishini beradi:

$$n(\vec{r}) = n_0 \exp(-U(\vec{r})/kT) \quad (2)$$

Bu Boltsman taqsimoti deyiladi.

Taqsimotni bu xossasi bilan batafsil tanishaylik. Jumladan potentsial maydon bo'lmaganda, $n(\vec{r}) = n_0$, gaz fazoda birjinsli taqsimlanadi. Amaliy qiziq bo'lgan masala – Yerning tortish maydonidagi havo zichligini taqsimotidir. Soddalik uchun **temperatura doimiy** deylik. Unda havo molekularining kontsentratsiyasi, havo zichligi va bosim bir xil taqsimotga ega bo'ladi. $U(r) = mgz$ potentsial maydonda ularning taqsimoti quyidagicha bo'ladi (nol indekslar $z = 0$ sathga tegishlidir):

$$\frac{n(z)}{n_0} = \frac{\rho(z)}{\rho_0} = \frac{P(z)}{P_0} = \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right) = \exp\left(-\frac{\mu gz}{RT}\right) \quad (3)$$

Bu formula – barometrik formula deyiladi. Unga asosan balandlikka ko'tarilgan sari havoning bosimi (hamda zichligi va kontsentratsiyasi) eksponentsial qonun bo'yicha kamayib boradi.

(3) qonuniyatni holat tenglamasi $P = nkT$ va havo bosimi uchun differentsial tenglamadan ham keltirib chiqarish mumkin:

$$dP = -\rho g dz \quad (4)$$

Bu tenglama havoning dz qalinlikdagi yupqa qatlamining og'irligi tufayli bosimning oshishi ifodalangan. $\rho = mn = mP/kT$ almashtirishni (4) – ifodaga qo'yib, bosim uchun differentsial tenglama xosil qilamiz:

$$\frac{dP}{P} = -\frac{mg}{kT} dz$$

Bu tenglama ham aynan (3) yechimlarga olib keladi va, shunday qilib, Boltsman taqsimot funktsiyasini to'g'riligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Havo asosan azot va kislorod gazlaridan iborat. Uning uchun $\mu \approx 29 \text{ g/mol}$. Temperatura 300K bo'lsa, balandlik oshishi bilan havo zichligi va bosimi qanday kamayishini o'rganishimiz mumkin. Yuqoridagi formulalarga ko'ra 1m balandlikka ko'tarilganda havo bosimi va zichligi faqat $1.1 \cdot 10^{-4}$ qismga o'zgarar ekan holos. Jomalugma tog'ining tepasida ($z = 8890\text{m}$) esa bosim dengiz sathidagi bosimning 0.36 qismini tashkil etarkan. Havo bilan birga kislorodning ham zichligini kamayib ketishi u yerda odamni bo'lish imkoniyatini cheklab qo'yadi.

Agar sizni havo zichligi (yoki kontsentratsiyasini) juda katta balandliklardagi taqsimoti qiziqтира, potentsial energiyaning boshqa ifodasini ishlatish kerak: $U(r) = -\gamma mM/r$, (5)

M – Yerning massasi, γ - gravitatsion doimiy, r - Yerning markazigachan masofa. Unda:

$$\frac{n(r)}{n_0} = \frac{\rho(r)}{\rho_0} = \frac{P(r)}{P_0} = \exp\left(\frac{\gamma mM}{rkT}\right) \quad (6)$$

Bu yerdagi nol indekslar biron belgilangan satxga, masalan Yer sirtiga ($r = R_{ep}$) tegishlidir

(6) formula havo molekularining kontsentratsiyasini masofa ortishi bilan kamayib borishini ifodalaydi. Jumladan (6) yordamida hajmi $4\pi r^2 dr$ bo'lgan dr qalinlikdagi sferik havo qatlamidagi molekular dN sonini hisoblash mumkin. Bundan so'ng, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$\frac{dN}{dr} = 4\pi n_0 r^2 \exp\left(\frac{\gamma mM}{rkT}\right)$$

(7)

Bu ifoda cheksiz katta masofalarda nolga aylanmaydi. Bu esa atmosferaning yuqori qatlamlarida muvozanat yo'qligidan darak beradi.

Ma'lumki, aralash gazlardagi zarralarning kinetik energisi zarra massasiga bog'liq emas, lekin atmosferadagi balandlik bo'yicha taqsimot ularni massasiga bog'liqdir. (6) ifodaga asosan kattaroq massalik gazlar (kislorod, azot, karbonat angidrid) zichligi balandlik bilan tezroq, yengil gazlarniki (vodorod, geliy) sekinroq kamayib boradi. Demak katta balandliklarda atmosfera ko'proq yengil gazlardan iborat bo'ladi. Bir xil temperaturada yengil gazlarning tezligi yuqoriroq bo'lgani uchun, ularning tezligi 1 – kosmik tezlikdan yuqori bo'lib, Yerdan uzoqlashib ketish ehtimolligi yuqoridir.

Atmosferadagi yuqori energiya va tezlikka ega bo'lgan ayrim molekulalar Yerdan uzilib Fazoga chiqib ketishi real jarayon bo'lib, birinchi navbatda yengil molekulalar: vodorod, geliy Yerdan uchib ketadi, va atmosferada ularni uchratish qiyindir. Ayrim kichik planetalarni esa (Oy, Merkuriy), umuman atmosferasi yo'qdir. Demak Yerning massasi shunday katta ekanki, o'z atrofida hayotbaxsh atmosferani ushlab tura oladi. Yupiter, Saturn kabi ulkan planetalarda tortish kuchi katta bo'lgani uchun, vodorod va geliy gazlari atmosferada ushlab qolgan bo'lib, atmosfera asosan ulardan iboratdir. Bu planetalarda kislorod vujudga kelsa ham vodorod bilan birlashib, tirik hayot uchun kerak bo'lgan erkin holda uchramaydi. Yerda esa, geologik tarixiy davrda atmosferada paydo bo'lgan ko'plab kislorod hamma vodorodni bog'lab, okeanlarni suvini xosil qilgan, va bundan ortgan kislorod atmosferada qolgan.

Yer sirtida balandlikni h_0 , bosimni r_0 va hajm birligidagi molekulalar sonini n_0 deb olaylik. h balandlikda R bosim ostida birlik hajmda n dona molekula mavjud deb hisoblaylik. h -balandlikda qalinligi dh va asosining yuzi $S=1 \text{ m}^2$ bo'lgan qatlamni ajrataylik. Gazni bir jinsli deb, uning temperaturasini esa o'zgarmas deb olaylik (6.5-rasm). Bu qatlamning qo'yi va yuqori asoslariga ta'sir etuvchi atmosfera bosimini R va $R + dR$ deb belgilaylik. Bu elementar hajmdagi molekulalar soni hajm birligidagi molekulalar sonining (n) uning hajmiga $dv = Sdh$ ko'paytmasi bilan ifodalanadi. Qatlamning umumiy og'irligi esa

$$dp = n \cdot Sdh \cdot m_m g$$

teng bo'ladi va quyidagi bosimni hosil qiladi

$$dP = \frac{dp}{S} = -\frac{nm_m g Sdh}{S} = -nm_m g dh$$

Minus ishorasi h orta borishi bilan bosimni kamayotganligini ko'rsatadi. Ikkinchi tomondan (6.23') ni eslasak

$$P = nkT$$

(6.31) ni (6.32) ga taqsimlasak

$$\frac{dP}{P} = -\frac{m_m g dh}{kT}$$

hosil qilamiz, uni g , T o'zgarmas deb hisoblab h_0 dan h gacha va R_0 dan R gacha integrallaylik

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\frac{m_m g}{kT} \int_{h_0}^h dh$$

$$\ln p - \ln p_0 = -\frac{m_m g}{kT} (h - h_0)$$

tenglamani hosil qilamiz. Bu ifoda ustida potentsialashni bajarsak:

$$\frac{P}{P_0} = e^{-\frac{m_m g}{kT} (h - h_0)}$$

yoki $h=0$ da

$$P = P_0 e^{-\frac{m_M g (h-h_0)}{kT}}$$

ifodaga erishamiz, $\kappa = \frac{R}{N_A}$, $m_m \cdot N_A = \mu$ ekanliklarini eotiborga olsak (6.33) ni quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}} \quad (6.34)$$

Bu tenglama **barometrik formula** deb ataladi. (6.32) dan foydalanib:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{n}{n_0}$$

deb hisoblab (6.33) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$n = n_0 e^{-\frac{m_M g h}{kT}}$$

Bu ifodadagi $m_m g h = U$ potentsial energiyani ifodalaydi. U holda (6.35) munosabat

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}$$

ko`rinishda yoziladi. Bu munosabatni **Boltsman taqsimoti** deb ataladi.

(6.35) ifoda balandlik ortishi bilan havo zarrachalarining kontsentratsiyasi kamayib borishini ko`rsatadi.

7-MA'RUZA. MOLEKULALARNING TEZLIK KOMPONENTALARI BO'YICHA TAQSIMOTI. MOLEKULALARNING TEZLIKLAR BO'YICHA TAQSIMOTI-MAKSVELL TAQSIMOTI.

Reja:

1. Molekulalarning issiqlik harakatlari tezliklari bo'yicha taqsimoti
2. (Maksvell taqsimoti)
3. Gaz molekularining o'rtacha arifmetik va extimoliy tezliklari.
4. Nisbiy tezliklar unuch Maksvell taqsimoti.

Tezliklar bo'yicha molekulalarning taqsimotini keltirib chiqarish uchun quyidagi misoldan foydalanamiz: molekulalar tezliklarini Dekart koordinatalar sistemasi markazidan boshlanuvchi v_x , v_y , v_z vektorlar bilan tasvirlaymiz (1- rasm). Bu sistemada tezlik vektorining kattaligi va yo'nalishi vector tugaydigan nuqtaning holati bilan aniqlanadi. Tezlik moduli

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \text{ yoki}$$

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

v_x , v_y , v_z koordinatalar sistemasi bilan tezliklar fazosi deb ataluvchi $dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z$ ga teng bo'lgan hajm elementi ajratiladi.

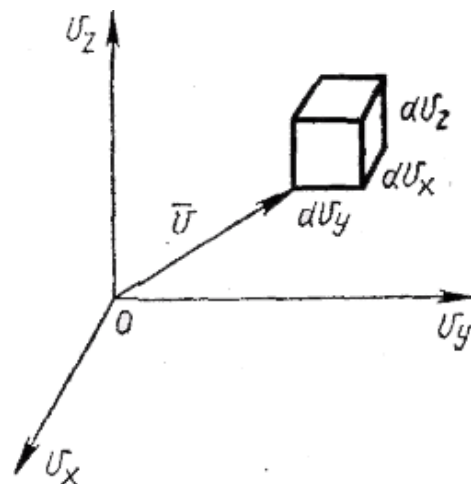
$$f(v_x) = \frac{dN}{Nd v_x} = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{m v_x^2}{2kT}}$$

ko`rinishidagi uchta funksiya ko'paytmasi

$$f(v_x) f(v_y) f(v_z)$$

molekulaning tezliklar fazosi hajmiga tushish ehtimolligini aniqlaydi:

$$f(v_x) f(v_y) f(v_z) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m}{2kT} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} \quad (2)$$



1- rasm

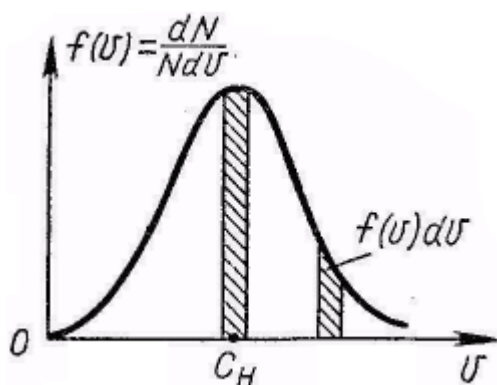
Bu funksiya faqat tezlik moduliga bog'liqligidan, uning o'ng tomonini aniqlash uchun quyidagicha ish tutamiz: koordinata boshi atrofida tezliklar fazosida radiuslari v va $v+dv$ bo'lgan ikkita sfera ajratamiz. Ko'rsatilgan sferalar orasidagi shar qatlam hajmi $4\pi v^2 dv$ ga teng. Ajratilgan shar qatlamda ma'lum sonli molekulalar tezlik vektorlari tugaydi. Bu sonni dN bilan belgilab, (2) kabi tezliklar fazosining birlik hajmiga molekulalarni tushishi ehtimolligini

aniqlaydigan $\frac{dN}{N4\pi v^2 dv}$ nisbatni kiritamiz. (2) ning o'ng tomonini hosil qilingan nisbatga tenglab va (1) ni hisobga olgan holda,

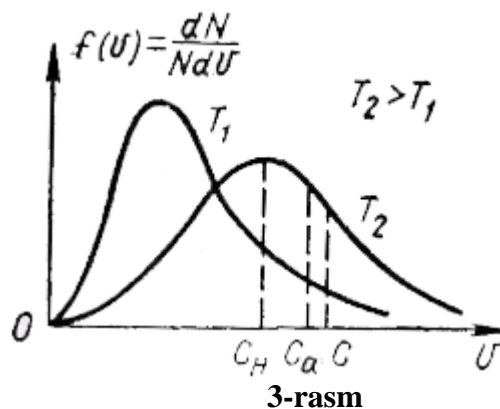
$$f(v) = \frac{dN}{Ndv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{v^2}{\left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (3)$$

ekanligini topamiz.

(3) tenglamani birinchi bo'lib Maksvell keltirib chiqargan va u gazsimon va suyuq holatdagi moddalar molekulyar nazariyasida fundamental qiymatga egadir. (3) funksiya molekulaning birlik tezlik intervali (v dan $v+1$ gacha) da bo'lish ehtimolligini aniqlaydi.



2-rasm



3-rasm

3) funksiya grafigi 38-rasmda ko'rsatilgan. (2) tenglama tezlik vektorlari uchlarning X o'qidagi proyeksiyalarining taqsimlanishini ifodalaydi, (3) tenglama esa tezlik vektorlarining, ularning boshi bir nuqtaga keltirilganida va ularning hammasi v o'qda musbat yo'nalishga aylantirilganda, chekka nuqtalari proyeksiyalarining taqsimotini ifodalaydi. Kutilganidek, (3) funksiya $v \rightarrow 0$ va $v \rightarrow \infty$ da nolga intiladi, yani tinchlangan molekulalarni yoki juda katta tezlik bilan harakatlanuvchi molekulalarni topish ehtimolligi nolga yaqinlashadi. 38- grafikdan taqsimot funksiyasining maksimumiga to'g'ri keladigan shunday tezlik mavjudligi ko'rinib turibdi. Bu tezlik eng katta ehtimollik tezlik deyilib, C_e bilan belgilanadi. (3) funksiyaning

$$\text{ekstremumga tekshirib } C_H = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (4)$$

ekanligini topamiz. (4) ni hisobga olgan holda (3) ni boshqacha ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{dN}{Ndv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{v^2}{C_H^3} e^{-\left(\frac{v}{C_H}\right)^2} \quad (5)$$

Maksvell taqsimoti egri chizig'idan (3-rasm) foydalanib, grafik tarzda tezliklari berilgan v dan $v + dv$ gacha intervalda yotuvchi molekulalarning nisbiy soni $dN/N=f(v)dv$ ni aniqlash mumkin. Bu rasmda asoslari bir xil, lekin tezliklar o'qining turli yerlarida olingan ikkita shunday interval tasvirlangan (ulardan biri eng katta ehtimollik tezlikni o'z ichiga oladi). Shtrixlangan maydonlarni taqqoslash shuni ko'rsatadiki, agar interval o'z ichiga eng katta ehtimollik tezlikni olgan bo'lsa, bunday intervalda molekulalarni topish ehtimolligi maksimaldir.

Eng katta ehtimollik tezlik – bu molekulalarning ko'p ulushi ega bo'lgan tezlik degan ta'rif albatta noto'g'ridir. Haqiqatda, $dN/N=f(v)dv$ bo'lib, $dv \rightarrow 0$ da doimo $dN/N \rightarrow 0$ bo'ladi.

Shunday qilib, aniq berilgan tezlikli molekullarni topish ehtimolligi nolga tengdir. (3) ga muvofiq,

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1 \quad (6)$$

(6) integral grafik tarzda Maksvellning taqsimot funksiyasi (3) bilan chegaralangan maydon orqali ifodalanadi (38-rasm). Mos holda tezligi 0 dan ∞ gacha intervaldagi molekullarni topish ehtimolligi birga teng. (4) va (6) dan temperatura oshishi bilan Maksvellning taqsimot funksiyasi maksimumi katta tezliklar tomonga siljiydi, maksimumning balandligi esa bunda kamayadi (2-rasm).

(3) taqsimotni bilgan holda molekular issiqlik harakati tezliklarining o'rtacha qiymatini (o'rtacha arifmetik tezlik) va tezlik kvadratining o'rtacha qiymatini topish mumkin.

Molekular issiqlik harakatining o'rtacha tezligi :

$$C_a = \frac{1}{N} \sum_i v_i \quad (7)$$

$$C^2_x = \frac{1}{N} \int v^2_x dN$$

ni olish uchun qo'llanilgan muhokamalarni takrorlab:

$$C_a = \frac{1}{N} \int_0^{\infty} v dN \quad (8)$$

ni hosil qilamiz.

(3) dan dN ni qo'yib:

$$C_a = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} v^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv \quad (9)$$

ga ega bo'lamiz.

Integral $\int_0^{\infty} v^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv = \frac{1}{2} \left(\frac{2kT}{m} \right)^2$ bo'lgani uchun $C_a = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ bo'ladi.

O'rtacha kvadratik tezlik uchun $C^2 = \frac{1}{N} \int v^2 dN$ (3) dan dN ning qiymatini qo'yib:

$$C^2 = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$$

ga kelamiz.

Bu munosabatdagi integral $\frac{3\sqrt{\pi}}{8} \left(\frac{2kT}{m} \right)^{\frac{5}{2}}$ ga teng va shunga muvofiq, $C^2 = 3kT/m$ (10)

(4), (9) va (10) dan

$$C : C_a : C_e = \sqrt{3} : \sqrt{\frac{8}{\pi}} : \sqrt{2} \approx 1,2 : 1,1 : 1 \quad (11)$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, $C > C_a > C_e$. Bunda o'rtacha kvadratik tezlik o'rtacha arifmetik tezlikdan 9% ga va eng katta ehtimollik tezlikdan 22% ga kattadir.

Avvalgi paragrafda berilgan yo'nalishda (X o'qi bo'yicha) molekular issiqlik harakatlarining o'rtacha kvadratik va o'rtacha arifmetik tezliklarining qiymatlari topilgan edi.

$$C^2_x = \frac{kT}{m} \quad C^2_x = \frac{kT}{m} \quad C^2_x = \frac{kT}{m} \quad C_{ax} = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^{\infty} v_x e^{-\frac{mv^2_x}{2kT}} dv_x$$

formula bilan solishtirib:

$$a) \quad C = \sqrt{3}C_x \quad b) \quad C_a = 4C_{ax} \quad (12)$$

ga ega bo'lamiz.

Shuni eslatib o'tamizki, Maksvell taqsimotidan olingan (12,a) oldin o'rtacha qiymatlarni aniqlashda olingan edi.

Molekulyar-kinetik nazariyaning juda muhim natijasi temperatura bilan molekular ilgarilanma harakati o'rtacha energiyasi orasida bog'liqlikni o'rnatishdir. Shunday (10) dan

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (13)$$

kelib chiqadi.

(13) ga binoan molekular ilgarilanma harakati kinetik energiyasining o'rtacha qiymati termodinamik temperaturadan faqatgina $3/2 k$ ko'paytmaga farq qiladi. Shunday qilib, *termodinamik temperatura – bu molekular ilgarilanma harakati o'rtacha energiyasiga proporsional kattalikdir.*

A va B jismlar bir xil temperaturaga ega ekanligi shuni bildiradiki, A va B jism molekularining issiqlik harakatlari o'rtacha energiyalari bir xil bo'ladi. A jism B jismdan ko'proq qizitilgan deganda, A jism molekulasiga B jism molekulasiga nisbatan o'rtacha kattaroq issiqlik harakati energiyasiga egaligi

2. Ideal gaz tenglamalarini ko'rgan vaqtimizda biz molekular turlicha issiqlik harakat tezligiga ega deb hisobladik. Agar biz vaqtning qandaydir momentida hamma molekularning tezliklari moduli bo'yicha bir xil va faqat yo'nalishlari bo'yicha farqlanadi, deb hisoblasak ham, ularning bir-biri bilan to'qnashishi, ularning tezligini o'zgarishiga tezliklarni moduli bo'yicha tengligini buzilishiga olib keladi. Aytaylik A molekula moduli u va $O\tilde{O}$ o'qi bo'yicha yo'nalgan u_1 tezlikka ega bo'lsin. Xuddi shunday u_2 tezlik moduli bilan OZ o'qi yo'nalishda harakatlanayotgan boshqa molekula bilan elastik to'qnashgandan keyin A molekula qo'shimcha u'_1 tezlik olishi mumkin (1-rasm). Bunday to'qnashish natijasida ikkinchi molekula to'xtaydi, A molekulaning tezligi $u'_1 = u_1 + u_2$ yoki $u'_1 = \sqrt{2} u$ bo'lib qoladi.

Termodinamik muvozanatdagi gaz molekularining issiqlik harakat tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini birinchi bo'lib D.K. Maksvell (1859) topgan va u **Maksvell taqsimoti** deb ataladi. Maksvellning muloqaza yuritish yo'llari ancha murakkab bo'lgani uchun biz unga to'xtalmaymiz, faqat Maksvell qonunining fizik ma'nosi va undan kelib chiqadigan ba'zi natijalar bilan chegaralanamiz xolos.

Molekular tezligini uch o'lchovlik **tezliklar fazosida** qutbli vektorlar ko'rinishida tasvirlash qulay, bunda o'zaro ortogonalp koordinat o'qlariga molekular tezligining u_x, u_y, u_z tashkil etuvchilari qo'yiladi (2- rasm). Bunda dn - tezlik modullari u va $u+du$ oraliqda bo'lgan molekularning hajm birligidagi soni. Ma'lumki, tezliklar fazosida bu molekular tezlik vektorlarining uchlari 10.3-rasmda qoraytirib ko'rsatilgan shar qatlamining ichida yotishi kerak. Bu qatlamning hajmi $d\omega = 4\pi u^2 du$. Issiqlik harakatning tartibsizligi tufayli molekularning hamma tezlik yo'nalishlari teng ehtimollikka ega. Shuning uchun dn soni molekularning hajm birligidagi soni n_0 ga, hamda $d\omega$ shar qatlamining hajmiga proporsional bo'lishi kerak. Bundan tashhari dn tezlik moduliga ham bog'liq bo'lishi kerak. Shunday qilib,

$$dn = n_0 f(u) \cdot 4\pi u^2 du = n_0 F(u) du, \quad (14)$$

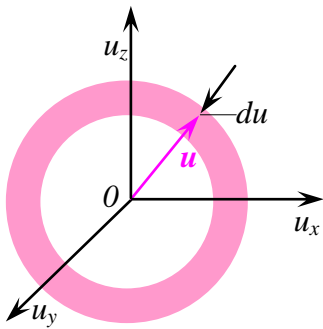
bu yerda

$$F(u) = 4\pi u^2 f(u). \quad (15)$$

Taqsimot funksiyasi 58

$$F(u) = \frac{dn}{n_0 du} \quad (16)$$

tezlik moduli birlik hal inlikdagi shar qatlami ichida joylashgan molekularning ulushni bildiradi. $F(u)dn = dn/n_0$ ko'paytma molekularning tezlik moduli u va $u+du$ oraliqda bo'lish ehtimolligini bildiradi. $F(u)$ funksiya, **gaz molekularining tezlik modullari bo'yicha taqsimot funksiyasi** deyiladi. $F(u)$ funksiyaning fizik ma'nosidan



1-rasm

$$\int_0^{\infty} F(u) du = 1 \quad (17)$$

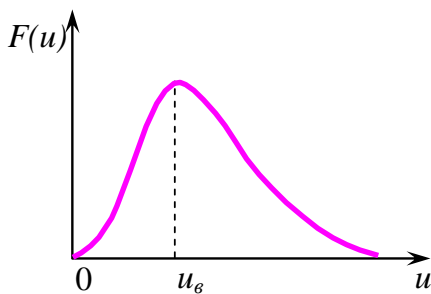
bo'lishi kelib chiqadi. (10.8) integrallning fizik ma'nosi quyidagichadir. Har qanday molekula tezlikning qandaydir u absolyut qiymatiga ega. Shuning uchun tezligining absolyut qiymatlari u bo'lgan barcha molekularning ulushlarini yig'ib chiqsak, 1 kelib chiqadi.

f(u) funksiya ham xuddi F(u) funksiyadek ma'noga ega, ammo (3') ga asosan, u birlik $d\omega = 4\pi u^2 du$ hajm orlig'i uchun tegishli taqsimot funksiyasidir. Hisoblashlar

$$f(u) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} \quad (18)$$

ekanligini ko'rsatadi. 10.4-rasmda F(u) funksiya grafigi ko'rsatilgan. F(u) funksiyaning fizik ma'nosidan va (10.8) integraldan 10.4-rasmdagi egri chiziq va abstsissa o'qi bilan chegaralangan butun yuzaga teng.

2-rasmda tasvirlangan egri chiziq molekularning tezlik modullari bo'yicha taqsimlanishini ifodalaydi. (3) va (4) formulalarni birlashtirib, **molekulalarni tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini** (Maksvell qonunini) quyidagicha yozish mumkin:



2-rasm

$$dn = n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} 4\pi u^2 du \quad (19)$$

(6) qonundan F(u) funksiya grafigining (2-rasm) maksimumiga mos keluvchi **eng katta ehtimol tezlik** deb ataluvchi u_{eq} tezlikni aniqlash mumkin.

F(u) funksiyaning maksimum shartini yozamiz:

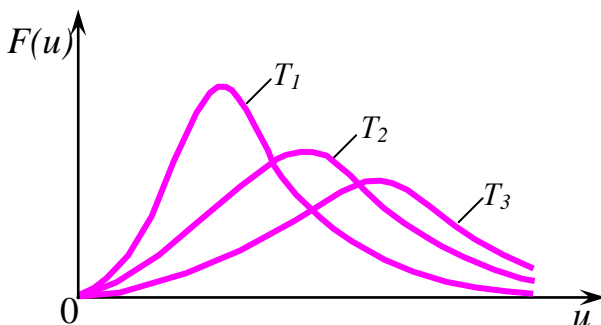
$$\left[\frac{d}{du} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} u^2 \right]_{u=u_{eq}} = 0$$

Bu tenglamaning yechimidan

$$u_{ex} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = v_{kv} \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (20)$$

kelib chiqadi. Bu yerda v_{kv} (3) formula bilan aniqlanuvchi o'rtacha kvadratik tezlik. Ikkala v_{kv} va u_{ex} tezlik ham faqat gaz temperaturasiga va uning molyar massasiga bog'liq.

Agar abstsissa o'qiga tezlikni, ordina o'qiga F(u) funksiyani qo'ysak, turli temperaturalar $T_1 < T_2 < T_3$ uchun molekularni tezliklari bo'yicha taqsimlanishi 10.5-rasmda tasvirlangandek bo'ladi.



3-rasm

Temperaturani ortishi bilan egri chiziq maksimumi tezlik katta bo'lgan tomonga siljiydi, ammo uning absolyut qiymati kamayadi. Demak, gaz isitilganda kichik tezlikdagi molekular ulushi kamayib, katta tezlikli molekular ulushi ortadi.

Molekularning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni ideal gaz molekularining ilgarilanma harakat **o'rtacha arifmetik tezligini** hisoblashga imkon beradi. Buning uchun qandaydir u tezlika ega bo'lgan molekular dn/n_0 ulushini shu tezlikka ko'paytirish va barcha tezliklar bo'yicha yig'ib

chiqish zarur. Tezlik uzluksiz o'zgargani uchun yig'indini integrallash bilan almashtiriladi. Natijada

$$\langle u \rangle = \int_0^{\infty} u \frac{dn}{n_0}$$

ifodani olamiz. dn/n_0 nisbatni o'rniga (10.7) formuladagi F(u) funksiyani kiritamiz. Keyin

$$\langle u \rangle = \int_0^{\infty} u F(u) du \quad (21)$$

ifoda hosil bo'ladi. Bu natija umumiy ahamiyatga ega. Klassik statistik fizikada har qanday fizik kattalik x ning o'rtacha qiymati molekulalarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini hisobga olgan holda

$$\langle x \rangle = \int_0^{\infty} x F(x) dx \quad (22)$$

formula bilan hisoblanadi. (8) formulaga $F(u)$ ning (3') va (7) ifodalarini qo'yamiz. Natijada

$$\langle u \rangle = n_0 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} u^3 e^{-m_0^2/(2kT)} du$$

Bu ifodani integralagandan keyin

$$\langle u \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = u_{\text{ex}} \sqrt{\frac{4}{\pi}} = u_{\text{ex}} \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \quad (23)$$

formulani hosil qilamiz.

Uchala u_{kv} , $\langle u \rangle$ va u_{ex} tezliklar bir-biridan birga yaqin bo'lgan ko'paytuvchisi bilan farq qilib, $u_{\text{kv}} > \langle u \rangle > u_{\text{ex}}$ tengsizlik o'rinli bo'ladi.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni (10) yordamida ularning **nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimlanishini** ham topishimiz mumkin oldingi darsda ko'rsatilganidek, massalari m_1 va m_2 bo'lgan ikkita zarraning nisbiy tezligi keltirilgan $m_{\text{kel}} = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ massali bitta zarraning harakatiga ekvivalentdir. Bir jinsli gaz uchun $m_1 = m_2 = m$ bo'lgani uchun $m_{\text{kel}} = m/2$ bo'ladi. Molekulalarning nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimlanishi umumiy molekulalar n_0 sonidan dn_{nis}/n_0 ulushining tezligi u_{nis} dan $u_{\text{nis}} + du_{\text{nis}}$ gacha bo'lgan oraliqda bo'lishini aniqlaydi. Bunday taqsimot uchun (10) qonun quyidagi ko'rinishni oladi:

$$dn_{\text{nis}} = n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0^2 u_{\text{nis}}^2 / (4kT)} 4\pi u_{\text{nis}}^2 du_{\text{nis}} \quad (22')$$

Bunda

$$\frac{dn_{u_{\text{nuc}}}}{n_0} = F_1(u_{\text{nis}}) du_{\text{nis}},$$

bu yerda

$$F_1(u_{\text{nis}}) = 4\pi \left(\frac{m_0}{4\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0^2 u_{\text{nis}}^2 / (4kT)} u_{\text{nis}}^2$$

Ideal gaz molekulalarining nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimot funksiyasi.

(8') qonuni va (9) formula yordamida ideal gaz molekulalarining **o'rtacha nisbiy tezligini** topish mumkin:

$$\langle u_{\text{nis}} \rangle = \int_0^{\infty} u_{\text{nis}} F_1(u_{\text{nis}}) du_{\text{nis}}$$

Bu integralga $F_1(u_{\text{nis}})$ funksiyani ifodasini qo'yib integrallaganimizdan keyin

$$\langle u_{\text{nis}} \rangle = \sqrt{2} \sqrt{8kT / (\pi m_0)} = \sqrt{2} \langle u \rangle \quad (23)$$

formulani olamiz. Bu yerda $\langle u \rangle$ - molekulaning o'rtacha arifmetik tezligi.

Endi ideal gaz molekulalarining issiqlik harakatdagi kinetik energiyalari bo'yicha taqsimot qonunini topamiz. Bunday taqsimot $W_k = 1/2 m_0 u^2$ kinetik energiyasi W_k dan $W_k + dW_k$ gacha oraliqda bo'lgan molekulalarning dn_{W_k} / n_0 ulushni aniqlaydi.

Bunday taqsimot qonunini olish uchun (5) formuladagi u dan W_k ga o'tish uchun $u = \sqrt{2W_k / m_0}$ va $du = W_k^{-1/2} dW_k / \sqrt{2m_0}$ munosabatlardan foydalanamiz.

$$\text{Natijada } dn_{w_k} = n_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-w_k/(kT)} \sqrt{w_k} dw_k \quad (22'')$$

formulani olamiz. Bunda

$$dn_{w_k} / n_0 = F_2(w_k) dw_k$$

bo'lib, **ideal gaz molekularining kinetik energiyalari bo'yicha taqsimot funksiya**

$$F_2(w_k) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-w_k/(kT)} \sqrt{w_k}$$

Ko'rinishda bo'ladi. Bu funksiyadan va (10.13) formuladan foydalanib, ideal gaz molekulasining $\langle w_k \rangle$ o'rtacha kinetik energiyasini topamiz:

$$\langle w_k \rangle = \int_0^{\infty} w_k F_2(w_k) dw_k = \frac{2}{\sqrt{\pi} (kT)^{3/2}} \int_0^{\infty} w_k e^{-w_k/(kT)} \sqrt{w_k} dw_k = \frac{3}{2} kT \quad (22''')$$

9-MA'RUZA. GAZ MOLEKULARINING O'RTACHA TEZLIKLARI. ENG EHTIMOLLI TEZLIK, O'RTACHA ARIFMETIK TEZLIK, O'RTACHA KVADRATIK TEZLIK. GAZ MOLEKULARINING TEZLIGINI O'LCHASH. SHTERN TAJRIBASI.

Reja:

1. Gaz molekularining o'rtacha tezliklari.
2. Eng ehtimolli tezlik, o'rtacha arifmetik tezlik, o'rtacha kvadratik tezlik.
3. Gaz molekularining tezligini o'lchash. Shtern tajribasi.

Ideal gaz tenglamalarini ko'rgan vaqtimizda biz molekular turlicha issiqlik harakat tezligiga ega deb hisobladik. Agar biz vaqtning qandaydir momentida hamma molekularning tezliklari moduli bo'yicha bir xil va faqat yo'nalishlari bo'yicha farqlanadi, deb hisoblasak ham, ularning bir-biri bilan to'qnashishi, ularning tezligini o'zgarishiga tezliklarni moduli bo'yicha tengligini buzilishiga olib keladi. Aytaylik A molekula moduli u va $O\vec{O}$ o'qi bo'yicha yo'nalgan u_1 tezlikka ega bo'lsin. Xuddi shunday u_2 tezlik moduli bilan OZ o'qi yo'nalishda harakatlanayotgan boshqa molekula bilan elastik to'qnashgandan keyin A molekula qo'shimcha u'_1 tezlik olishi mumkin (1-rasm). Bunday to'qnashish natijasida ikkinchi molekula to'xtaydi, A molekulaning tezligi $u'_1 = u_1 + u_2$ yoki $u'_1 = \sqrt{2} u$ bo'lib qoladi.

Termodinamik muvozanatdagi gaz molekularining issiqlik harakat tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini birinchi bo'lib D.K. Maksvell (1859) topgan va u **Maksvell taqsimoti** deb ataladi. Maksvellning muloqaza yuritish yo'llari ancha murakkab bo'lgani uchun biz unga to'xtalmaymiz, faqat Maksvell qonunining fizik ma'nosi va undan kelib chiqadigan ba'zi natijalar bilan chegaralanamiz xolos.

Molekular tezligini uch o'lchovlik **tezliklar fazosida** qutbli vektorlar ko'rinishida tasvirlash qulay, bunda o'zaro ortogonalp koordinat o'qlariga molekular tezligining u_x, u_y, u_z tashkil etuvchilari qo'yiladi (2- rasm). Bunda dn - tezlik modullari u va $u+du$ oraliqda bo'lgan molekularning hajm birligidagi soni. Ma'lumki, tezliklar fazosida bu molekular tezlik vektorlarining uchlari 10.3-rasmda qoraytirib ko'rsatilgan shar qatlamining ichida yotishi kerak. Bu qatlamning hajmi $d\omega = 4\pi u^2 du$. Issiqlik harakatning tartibsizligi tufayli molekularning hamma tezlik yo'nalishlari teng ehtimollikka ega. Shuning uchun dn soni molekularning hajm birligidagi soni n_0 ga, hamda $d\omega$ shar qatlamining hajmiga proporsional bo'lishi kerak. Bundan tashhari dn tezlik moduliga ham bog'liq bo'lishi kerak. Shunday qilib,

$$dn = n_0 f(u) \cdot 4\pi u^2 du = n_0 F(u) du, \quad (14)$$

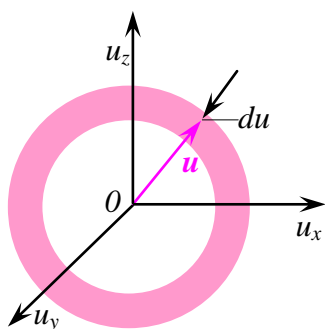
bu yerda

$$F(u) = 4\pi u^2 f(u). \quad (15')$$

Taqsimot funksiyasi 58

$$F(u) = \frac{dn}{n_0 du} \quad (16)$$

tezlik moduli birlik hal inlikdagi shar qatlami ichida joylashgan molekularning ulushni bildiradi. $F(u)dn = dn/n_0$ ko'paytma molekularning tezlik moduli u va $u+du$ oraliqda bo'lish ehtimolligini bildiradi. $F(u)$ funksiya, **gaz molekularining tezlik modullari bo'yicha taqsimot funksiyasi** deyiladi. $F(u)$ funksiyaning fizik ma'nosidan



1-rasm

$$\int_0^{\infty} F(u) du = 1 \quad (17)$$

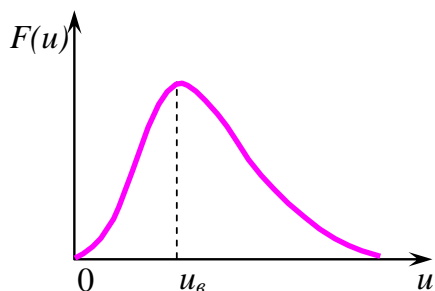
bo'lishi kelib chiqadi. (10.8) integrallning fizik ma'nosi quyidagichadir. Har qanday molekula tezlikning qandaydir u absolyut qiymatiga ega. Shuning uchun tezligining absolyut qiymatlari u bo'lgan barcha molekularning ulushlarini yig'ib chiqsak, 1 kelib chiqadi.

$f(u)$ funksiya ham xuddi $F(u)$ funksiyadek ma'noga ega, ammo (3') ga asosan, u birlik $d\omega = 4\pi u^2 du$ hajm orlig'i uchun tegishli taqsimot funksiyasidir. Hisoblashlar

$$f(u) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} \quad (18)$$

ekanligini ko'rsatadi. 10.4-rasmda $F(u)$ funksiya grafigi ko'rsatilgan. $F(u)$ funksiyaning fizik ma'nosidan va (10.8) integraldan 10.4-rasmdagi egri chiziq va abstsissa o'qi bilan chegaralangan butun yuzaga teng.

2-rasmda tasvirlangan egri chiziq molekularning tezlik modullari bo'yicha taqsimlanishini ifodalaydi. (3) va (4) formulalarni birlashtirib, molekularni tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini (Maksvell qonunini) quyidagicha yozish mumkin:



2-rasm

$$dn = n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} 4\pi u^2 du \quad (19)$$

(6) qonundan $F(u)$ funksiya grafigining (2-rasm) maksimumiga mos keluvchi eng katta ehtimol tezlik deb ataluvchi u_{eq} tezlikni aniqlash mumkin.

$F(u)$ funksiyaning maksimum shartini yozamiz:

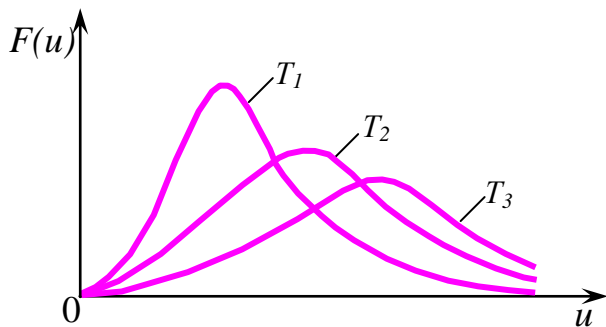
$$\left[\frac{d}{du} e^{-m_0 u^2 / (2kT)} u^2 \right]_{u=u_{06}} = 0$$

Bu tenglamaning yechimidan

$$u_{06} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = v_{kv} \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (20)$$

kelib chiqadi. Bu yerda v_{kv} (3) formula bilan aniqlanuvchi o'rtacha kvadratik tezlik. Ikkala v_{kv} va u_{06} tezlik ham faqat gaz temperaturasiga va uning molyar massasiga bog'liq.

Agar abstsissa o'qiga tezlikni, ordina o'qiga $F(u)$ funksiyani qo'ysak, turli temperaturalar $T_1 < T_2 < T_3$ uchun molekularni tezliklari bo'yicha taqsimlanishi 10.5-rasmda tasvirlangandek bo'ladi.



3-rasm

Temperaturani ortishi bilan egri chiziq maksimumi tezlik katta bo'lgan tomonga siljiydi, ammo uning absolyut qiymati kamayadi. Demak, gaz isitilganda kichik tezlikdagi molekular ulushi kamayib, katta tezlikli molekular ulushi ortadi.

Molekularning tezliklari bo'yicha taqsimot qonuni ideal gaz molekularining ilgarilanma harakat **o'rtacha arifmetik tezligini** hisoblashga imkon beradi. Buning uchun qandaydir u tezlikka ega bo'lgan molekular dn/n_0 ulushini shu tezlikka

ko'paytirish va barcha tezliklar bo'yicha yig'ib chiqish zarur. Tezlik uzluksiz o'zgargani uchun yig'indini integrallash bilan almashtiriladi. Natijada

$$\langle u \rangle = \int_0^{n_0} u \frac{dn}{n_0}$$

ifodani olamiz. dn/n_0 nisbatni o'rniga (10.7) formuladagi $F(u)$ funksiyani kiritamiz. Keyin

$$\langle u \rangle = \int_0^{\infty} u F(u) du \quad (21)$$

ifoda hosil bo'ladi. Bu natija umumiy ahamiyatga ega. Klassik statistik fizikada har qanday fizik kattalik x ning o'rtacha qiymati molekullarning tezliklari bo'yicha taqsimot qonunini hisobga olgan holda

$$\langle x \rangle = \int_0^{\infty} x F(x) dx \quad (22)$$

formula bilan hisoblanadi. (8) formulaga $F(u)$ ning (3') va (7) ifodalarini qo'yamiz. Natijada

$$\langle u \rangle = n_0 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} u^3 e^{-m_0^2/(2kT)} du$$

Bu ifodani integralagandan keyin

$$\langle u \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = u_{ex} \sqrt{\frac{4}{\pi}} = u_{kv} \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \quad (23)$$

formulani hosil qilamiz.

Uchala u_{kv} , $\langle u \rangle$ va u_{ex} tezliklar bir-biridan birga yaqin bo'lgan ko'payuvchisi bilan farq qilib, $u_{kv} > \langle u \rangle > u_{ex}$ tengsizlik o'rinli bo'ladi.

Molekullarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni (10) yordamida ularning **nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimlanishini** ham topishimiz mumkin oldingi darsda ko'rsatilganidek, massalari m_1 va m_2 bo'lgan ikkita zarraning nisbiy tezligi keltirilgan $m_{kel} = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ massali bitta zarraning harakatiga ekvivalentdir. Bir jinsli gaz uchun $m_1 = m_2 = m$ bo'lgani uchun $m_{kel} = m/2$ bo'ladi. Molekullarning nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimlanishi umumiy molekullar n_0 sonidan dn_{nis}/n_0 ulushining tezligi u_{nis} dan $u_{nis} + du_{nis}$ gacha bo'lgan oraliqda bo'lishini aniqlaydi. Bunday taqsimot uchun (10) qonun quyidagi ko'rinishni oladi:

$$dn_{nis} = n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u_{nic}^2 / (4kT)} 4\pi u_{nis}^2 du_{nis} \quad (22')$$

Bunda

$$\frac{dn_{u_{nic}}}{n_0} = F_1(u_{nis}) du_{nis},$$

bu yerda

$$F_1(u_{nis}) = 4\pi \left(\frac{m_0}{4\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 u_{nic}^2 / (4kT)} u_{nic}^2$$

Ideal gaz molekullarining nisbiy tezliklari bo'yicha taqsimot funksiyasi.

(8') qonuni va (9) formula yordamida ideal gaz molekullarining **o'rtacha nisbiy tezligini** topish mumkin:

$$\langle u_{nis} \rangle = \int_0^{\infty} u_{i \text{ òn}} F_1(u_{nis}) du_{nis}$$

Bu integralga $F_1(u_{nis})$ funksiyani ifodasini qo'yib integrallaganimizdan keyin

$$\langle u_{nis} \rangle = \sqrt{2} \sqrt{8kT / (\pi m_0)} = \sqrt{2} \langle u \rangle \quad (23)$$

formulani olamiz. Bu yerda $\langle u \rangle$ - molekulaning o'rtacha arifmetik tezligi.

Endi ideal gaz molekullarining issiqlik harakatdagi kinetik energiyalari bo'yicha

taqsimot qonunini topamiz. Bunday taqsimot $W_k = \frac{1}{2} m_0 u^2$ kinetik energiyasi W_k dan $W_k + dW_k$ gacha oraliqda bo'lgan molekularning dn_{W_k} / n_0 ulushni aniqlaydi.

Bunday taqsimot qonunini olish uchun (5) formuladagi u dan W_k ga o'tish uchun $u = \sqrt{2W_k / m_0}$ va $du = W_k^{-1/2} dW_k / \sqrt{2m_0}$ munosabatlardan foydalanamiz.

$$\text{Natijada } dn_{W_k} = n_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-W_k/(kT)} \sqrt{W_k} dW_k \quad (22'')$$

formulani olamiz. Bunda

$$dn_{W_k} / n_0 = F_2(W_k) dW_k$$

bo'lib, ideal gaz molekularining kinetik energiyalari bo'yicha taqsimot funksiya

$$F_2(W_k) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-W_k/(kT)} \sqrt{W_k}$$

Ko'rinishda bo'ladi. Bu funksiyadan va (10.13) formuladan foydalanib, ideal gaz molekulasining $\langle W_k \rangle$ o'rtacha kinetik energiyasini topamiz:

$$\langle W_k \rangle = \int_0^{\infty} W_k F_2(W_k) dW_k = \frac{2}{\sqrt{\pi} (kT)^{3/2}} \int_0^{\infty} W_k e^{-W_k/(kT)} \sqrt{W_k} dW_k = \frac{3}{2} kT \quad (22''')$$

Biz kutilganidek, (10.6) formulaga mos tushadigan molekularning ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiya uchun natija oldik.

Gazli sistemadagi zarralar turli tezliklar bilan turli yo'nalishlarda harakatlanadi. Bu bo'limda zarralarni tezliklar bo'yicha taqsimlanish statistik qonunini keltirib chiqaramiz.

Gazdagi zarralarning ko'plab to'qnashuvlari tufayli ularning tezliklari son jihatdan ham, yo'nalish jihatdan ham tasodifiy ravishda o'zgarib turadi. SHuning uchun zarra tezligini tasodifiy miqdor sifatidagina, ehtimollik tushunchasi bilan o'rganish mumkin. Tasodifiy miqdorlarni tasniflashni matematik metodlari haqida kitobning ilovasida tanishingiz mumkin.

Bitta zarrani x o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_x , $\mathcal{G}_x + d\mathcal{G}_x$ oraliqda bo'lish ehtimolligi oraliq kengligiga proporsionaldir:

$$dW(\mathcal{G}_x) = f(\mathcal{G}_x) d\mathcal{G}_x$$

Zarraning tezligi \mathcal{G} yoki $-\mathcal{G}$ bo'lishi teng kuchlidir, shuning uchun ehtimollik zichligi funksiyasi f tezlikka nisbatan juft funktsiya bo'lishi kerak:

$$dW(\mathcal{G}_x) = f(\mathcal{G}_x^2) d\mathcal{G}_x \quad (1)$$

SHunga o'xshash zarraning y o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_y , $\mathcal{G}_y + d\mathcal{G}_y$ oraliqda, z o'qi bo'ylab tezligi \mathcal{G}_z , $\mathcal{G}_z + d\mathcal{G}_z$ oraliqda bo'lishi ehtimolliklarini yozishimiz mumkin:

$$dW(\mathcal{G}_y) = f(\mathcal{G}_y^2) d\mathcal{G}_y, \quad dW(\mathcal{G}_z) = f(\mathcal{G}_z^2) d\mathcal{G}_z \quad (2)$$

Maksvell tomonidan kiritilgan gipotezaga ko'ra, zarraning uch yo'nalishdagi tezliklari o'zaro bog'liq bo'lmagan, erkin hodisalar deyiladi. Unda ehtimolliklarni ko'paytirish qoidasiga ko'ra, zarraning tezligi $\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z$ tezliklar atrofida $d\mathcal{G}_x, d\mathcal{G}_y, d\mathcal{G}_z$ intervallarda bo'lishi ehtimolligi quyidagicha ifodalanadi:

$$dW(\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z) = f(\mathcal{G}_x^2) f(\mathcal{G}_y^2) f(\mathcal{G}_z^2) d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z \quad (3)$$

Tezlikni tashkil etuvchilari $\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y, \mathcal{G}_z$ bilan, umumiy tezlik quyidagicha bog'langan:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\mathcal{G}_x^2 + \mathcal{G}_y^2 + \mathcal{G}_z^2} \quad (4)$$

Bu miqdor ham tasodifiy bo'lgani uchun, uning ehtimolligini yozishimiz mumkin:

$$dW(\mathcal{G}) = F(\mathcal{G}^2) d\bar{\mathcal{G}}, \quad d\bar{\mathcal{G}} = d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z \quad (5)$$

(3) va (5) ifodalarni solishtirib, quyidagi tenglikni xosil qilamiz:

$$F(\mathcal{G}^2) = f(\mathcal{G}_x^2) f(\mathcal{G}_y^2) f(\mathcal{G}_z^2) \quad (6)$$

Bu yerdagi noma'lum funktsiyalarni izlaymiz. Tenglikni har ikki tomonidan \mathcal{G}_x^2 bo'yicha xosila

olaylik:

$$\frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}_x^2} = \frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}^2} \frac{\partial \mathcal{G}^2}{\partial \mathcal{G}_x^2} = \frac{\partial F}{\partial \mathcal{G}^2}; \quad \frac{\partial f(\mathcal{G}_x^2)}{\partial \mathcal{G}_x^2} f(\mathcal{G}_y^2) f(\mathcal{G}_z^2) \quad (7)$$

Bularni tenglashtirib, (6) tenglikni mos hadlariga bo‘lib olamiz:

$$\frac{1}{F(\mathcal{G}^2)} \frac{\partial F(\mathcal{G}^2)}{\partial \mathcal{G}^2} = \frac{1}{f(\mathcal{G}_x^2)} \frac{\partial f(\mathcal{G}_x^2)}{\partial \mathcal{G}_x^2} \quad (8)$$

Turli argumentli funktsiyalarni har doim tengligi – ularni doimiy songa tengligidan darak beradi, bu sonni $-\beta$ deb belgilasak, bir xil ekanligi ma’lum bo‘lib qolgan F va f funktsiyalarni aniqlaymiz:

$$F(\mathcal{G}) = A^3 \exp(-\beta \mathcal{G}^2), \quad f(\mathcal{G}_x) = A \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) \quad (9)$$

Koeffitsientlarni (9) ifodada yozilganidek bog‘lanishi (6) tenglikdan kelib chiqadi. Boshqa koordinata o‘qlari bo‘ylab taqsimot funktsiyasi $f(\mathcal{G}_x)$ kabi bo‘ladi.

Normirovka shartidan A koeffitsientni topaylik:

$$A \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) d\mathcal{G}_x = 1, \quad A = \sqrt{\beta/\pi} \quad (10)$$

Demak, bitta zarraning turli tezliklarga ega bo‘lish ehtimolligining zichligi:

$$F(\mathcal{G}) = \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \exp(-\beta \mathcal{G}^2), \quad f(\mathcal{G}_x) = \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) \quad (11)$$

Tezlikning moduliga bog‘liq bo‘lgan, sferik simmetrik fizik miqdorlar $F(\mathcal{G})$ funktsiyasi yordamida o‘rtachalashtiriladi, integral $d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z$ o‘zgaruvchilar bo‘yicha hisoblanadi, yoki sferik koordinatalarni qo‘llab, burchaklar bo‘yicha integrallashni amalga oshirsak:

$$\iiint F(\mathcal{G}) d\mathcal{G}_x d\mathcal{G}_y d\mathcal{G}_z = \int F(\mathcal{G}) \mathcal{G}^2 d\mathcal{G} \int \int \sin\theta d\theta d\varphi = 4\pi \int_0^{\infty} F(\mathcal{G}) \mathcal{G}^2 d\mathcal{G}$$

SHunday qilib, integrallash faqat $d\mathcal{G}$ bo‘yicha bajarilishi uchun, $F(\mathcal{G})$ Maksvell taqsimot funktsiyasi quyidagicha aniqlanishi kerak:

$$F(\mathcal{G}) = 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \mathcal{G}^2 \exp(-\beta \mathcal{G}^2) \quad (12)$$

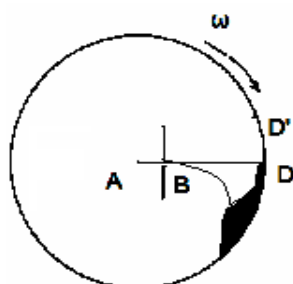
Taqsimot funktsiyasini keltirib chiqarishda asosan ikki ma’lumotga asoslanildi: bu funktsiyaning tezlikka nisbatan juft funktsiya bo‘lishi zarurati, hamda tezlik va uning komponentalari orasidagi $\mathcal{G} = \sqrt{\mathcal{G}_x^2 + \mathcal{G}_y^2 + \mathcal{G}_z^2}$ tabiiy munosabatga.

Topilgan taqsimot funktsiyalari bitta zarrani \mathcal{G} tezlikka ega bo‘lish ehtimolligini zichligini bildiradi. Bu taqsimot funktsiyalarini sistemadagi zarralar soni N ga ko‘paytirsak, ular tezligi \mathcal{G} ga teng bo‘lgan zarralar sonini xarakterlovchi ehtimollik zichligini anglatadi.

Bu (11)-(12) ifodalarni **Maksvell taqsimot taqsimoti**(1860) deyiladi.

Maksvell taqsimotini temperatura bilan bog‘liqligi

Maksvell taqsimot funktsiyasini temperatura bilan bog‘lanishini topish niyatida § 2 dagi kabi kub devoridagi gaz bosimini tezliklari Maksvell taqsimotida bo‘lgan bir xil massali zarralar uchun hisoblaylik. (2.5) formulaga ko‘ra N ta zarraning devorga



1-расм

bosimi $P = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N m \mathcal{G}_{ix}^2$. Yig‘indini integral bilan almashtirib, taqsimot funktsiyasi bo‘yicha o‘rtachalashtirsak:

$$P = \frac{Nm}{V} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{G}_x^2 f(\mathcal{G}_x) d\mathcal{G}_x = 2nm \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \int_0^{\infty} \mathcal{G}_x^2 \exp(-\beta \mathcal{G}_x^2) d\mathcal{G}_x$$

Bu yerda:
$$\int_0^{\infty} g_x^2 \exp(-\beta g_x^2) dg_x = \frac{1}{\beta^{3/2}} \int_0^{\infty} x^2 \exp(-x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\beta^{3/2}}$$

Demak:
$$P = 2mn \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \frac{\sqrt{\pi}}{4\beta^{3/2}} = \frac{mn}{2\beta} \quad (1)$$

Natijani holat tenglamasi $P = nkT$ bilan solishtirib, β ni topamiz
$$\beta = m / 2kT \quad (2)$$

SHunisi diqqatga sazovorki, taqsimot funksiyasidagi eksponenta ko'rsatkichi $\beta g^2 = (m g^2 / 2) / kT$ zarraning kinetik energiyasi orqali ifodalanar ekan. Kelgusida zarralarning taqsimotida potentsial energiyaning ahamiyati ham tahlil etiladi.

Temperatura T ni (1) va (2) tengliklar orqali statistik xarakterga ega bo'lgan taqsimot funksiyasiga kirishi – uni statistik xarakterini belgilab beradi. Lekin 2-§ da temperatura tushunchasi kiritilayotganda uni “sistemaning bir erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan o'rtacha energiya” deb ta'riflanishi ham uni statistik xarakterini tasdiqlaydi.

Gaz molekullarini tezliklar bo'yicha taqsimoti Maksvell taqsimotiga mos kelishi bir necha bor qo'yilgan maxsus tajribalarda tasdiqlangan. Birinchi tajribalar **O.Shtern** tomonidan 1920 yilda qo'yilgan edi. Molekulalarni manbai sifatida kumush bilan qoplangan elektr toki bilan qizdirilgan platina sim olingan. Sim yuqori haroratgacha qizdirilganda (962°S), kumush intensiv bug'langan, kumush atomlari issiqlik harakati tezligi bilan uchib chiqqan. Kumush atomlarini harakatiga to'sqinlik qilmasligi uchun qurilma vakuumga joylashtirilgan. Atomlar oqimi B tirqishdan o'tib (1-rasm), undan l masofadagi tashqi ekranda D iz qoldirgan.

Tajribani ikkinchi qismida butun qurilma qizdirilgan tola atrofida 2500-2700 aylana/minut tezlik bilan aylantirilgan. Aylantirish tufayli ilgari D nuqtaga kelib tushgan atomlar oqimi siljib, ekranning ekranning D nuqtaga kelib tushgan. Bu nuqtalar orasidagi s siljishni hisoblaylik. Kumush atomlarining tezligi g bo'lsa l masofaga yetib borishi uchun l/g vaqt kerak bo'lgan, bu vaqt ichida ω burchak tezligi bilan aylanayotgan ekran $s = (l/g)\omega R$ masofaga siljishga ulgurgan. Atomlarning tezliklari turlicha bo'lgani uchun, atomlarni ekrandagi izi D yoyilgan va notekis bo'lgan. Tajribada olingan s masofalar intervalini o'lchab, atomlarni o'rtacha tezligi hisoblangan. Bu tezlik ikkinchi bo'limdagi (2-14) formula bo'yicha hisoblangan o'rtacha kvadratik tezlik bilan sifat jihatdan mos keldi, atomlarni turli tezliklar bilan harakatlanishini tasdiqladi.

Shtern tajribasidagi qiyinchilik shundan iborat bo'lganki, o'lchanadigan s masofalar 1 mm atrofida bo'lib, D izlarni yoyilishi sonli o'rganilishi qiyin edi. SHuning uchun bu sohadagi tajribalar davom ettirildi. 1927 yilda Eldridj va Lammert molekullarni tezliklar bo'yicha taqsimotini o'rganish uchun yorug'lik tezligini o'lchash uchun Fizo tajribasidagi tishli g'ildiraklar metodini qo'llashdi. Miller va Kush 1955 yilda o'tkazishgan tajribalarida molekular dastasidan bir xil tezlikli zarralarni ajratib olish uchun aylanuvchi tsilindrda burchak ostida joylashgan shunday tirqishlar teshishdiki, tsilindr ω tezlik bilan aylanayotganda bu tirqishdan faqat bir xil tezlikli zarralargina o'tgan. TSartman tomonidan o'tkazilgan boshqa tajribalarda esa atomlarni ekranda yoyilib tushishi shaffof ekranda o'rganildi, natijada izni nozik optik metodlar bilan o'rganish mumkin bo'ldi. Bu tajribalar zarralarni tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimotiga bo'ysinishini turli aniqliklar bilan tasdiqladi.

Maksvell taqsimoti yordamida ayrim muhim fizik kattaliklarni hisoblash

Maksvell taqsimot funksiyasini qo'llab topiladigan bir necha muhim fizik miqdorlarni ko'raylik. Ulardan biri – yuqorida absalut temperaturani ta'rifida ishlatilgan molekularning o'rtacha kvadratik tezligidir:

$$g_{kv}^2 = \overline{g^2} = 4\pi \left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} I_4, \quad I_4 = \int_0^{\infty} g^4 \exp(-\beta g^2) dg = \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \int_0^{\infty} \exp(-\beta g^2) dg$$

Oxirgi integral Puasson integrali deb ataladi va $\sqrt{\pi/\beta}/2$ ga teng. Unda:

$I_4 = 3\sqrt{\pi}/8\beta^{5/2}$, $\bar{g}^2 = 3/2\beta = 3kT/m$, yoki $g_{kv} = \sqrt{3kT/m}$ bo'lib, ikkinchi bo'limdagi (2.14) natijaga mos keladi.

Molekulalarning o'rtacha tezligi \bar{g} ni topaylik:

$$\begin{aligned}\bar{g} &= \int_0^{\infty} gF(g)dg = 4\pi\left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \int_0^{\infty} g^3 \exp(-\beta g^2)dg = \\ &= 4\pi\left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \frac{1}{\beta^2} \int_0^{\infty} x^3 \exp(-x^2)dx = \frac{2}{\sqrt{\pi\beta}} = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{1/2}\end{aligned}\quad (3)$$

(ohirgi integrall bo'laklab integrallanadi, natija $1/2$ ga teng chiqadi).

Bundan tashqari ehtimolliki eng katta bo'lgan g_y tezlikni topaylik. Ekstremumlarni topishning umumiy qoidasiga ko'ra, (3.12) ifodadan tezlik bo'yicha xosila hisoblab, nolga tenglaymiz:

$$\begin{aligned}4\pi\left(\frac{\beta}{\pi}\right)^{3/2} \frac{d}{dg} [g^2 \exp(-\beta g^2)] &= 0, \quad 2g \exp(-\beta g^2)(1 - \beta g^2) = 0 \\ g_e &= \frac{1}{\beta^{1/2}} = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2}\end{aligned}\quad (4)$$

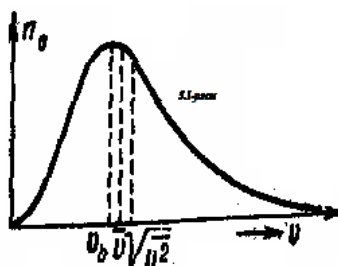
($g = 0$ va $g = \infty$ tezliklar ehtimollikni minimal qiymatiga to'g'ri keladi).

2-rasmda $F(g)$ Maksvell taqsimoti va uchta muhim tezliklar grafik tarzda tasvirlangan.

Tasodifiy miqdorlarning o'rtacha qiymatidan chetlashishini uning dispersiyasi karakterlaydi:

$$\delta = \sqrt{g^2 - \bar{g}^2} \approx g_e / 2 \quad (5)$$

Dispersiyaning kattaligi gaz molekulalarining tezliklari juda keng intervalda, noldan deyarli cheksizgacha bo'lishini ko'rsatadi.



2-rasm

Ayrim masalalarda harakatdagi ikki zarraning o'rtacha nisbiy tezligi kerak bo'ladi. Nisbiy tezlik $g_{12} = |\bar{g}_1 - \bar{g}_2|$ ikkita tasodifiy miqdorga bog'liq bo'lib, uni o'rtachalashtirish uchun ikkala tasodifiy miqdorni ham Maksvell taqsimotini hisobga olinishi kerak:

$$\bar{g}_{12} = \iint g_{12} f(g_1) f(g_2) d\bar{g}_1 d\bar{g}_2 \quad (6)$$

Nisbiy tezlik bilan bir qatorda nisbiy kvadratik tezlikni o'rtacha qiymatini topish haqida masala qo'yilishi mumkin: $g_{12}^2 = g_1^2 + g_2^2 - 2g_1g_2 \cos\theta$. Bu yerda θ ikki zarra tezliklari orasidagi burchakdir. \bar{g}_1 va \bar{g}_2 tezliklar turli yo'nalishlar bo'yicha simmetrik ehtimollikka ega bo'lgani uchun, ular orasidagi burchak $0 - 2\pi$ intervalda tekis taqsimlanadi, $\cos\theta$ funktsiya ishorasi o'zgaruvchi funktsiya sifatida bu oraliqda o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi, natijada $2\bar{g}_1\bar{g}_2 \cos\theta = 0$,

$$\bar{g}_{12}^2 = \bar{g}_1^2 + \bar{g}_2^2 = 2g_{kv}^2 = 6kT/m, \quad \sqrt{\bar{g}_{12}^2} = \sqrt{2}g_{kv} \quad (7)$$

(5) integralning yakuniy javobini keltiramiz:

$$\bar{g}_{12} = \sqrt{2}\bar{g}. \quad (8)$$

10-MA'RUZA. ISH VA ISSIQLIK MIQDORI. IDEAL GAZNING ICHKI ENERGIYASI. TERMODINAMIKANING 1-QONUNI. IDEAL GAZLARNING ISSIQLIK SIG'IMI. IDEAL GAZLAR ISSIQLIK SIG'IMINING TAJRIBA MA'LUMOTLARIDAN CHETLASHISHI

Reja:

1. Ideal gazlarning issiqlik sig'imining tajriba ma'lumotlaridan chetlashishi.
2. Issiqlik sig'imining kvant nazariyasi to'g'risida tushuncha.

3. Issiqlik sig`imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sig`imi.
4. Gazlarning issiqlik sig`imi va molekulalarning erkinlik darajasi.
5. Ikki va ko`p atomli gazlarning issiqlik sig`imi
6. Issiqlik miqdori va issiqlik sig`imlarini o`lchash.

Gaz molekulasining *erkinlik darajasi* deganda, shu gaz holatini to`la aniqlovchi va bir-biriga bog`liq bo`lmagan *koordinatalar soni* tushuniladi. Agar molekula bir to`g`ri chiziq bo`ylab harakatlanayotgan bo`lsa, uning vaziyati bitta koordinata bilan aniqlanadi, demak ($i=1$) erkinlik darajalar soni birga teng. Molekula tekislikda harakatlanayotgan bo`lsa, uning holatini ikkita koordinata bilan aniqlash mumkin, demak $i=2$. Fazoda molekula vaziyati uchta koordinata bilan aniqlanadi, $i=3$ ga teng. Gaz ikki atomli bo`lgan holda molekulaning erkinlik darajasi ortadi ($i=5$). Molekulalar 3 va undan ortiq atomlardan iborat bo`lsa, $i=6$ bo`ladi. Umumiy erkinlik darajasi nechaga teng bo`lishidan qat`iy nazar, uning uchtasi ilgari harakatga mos keladi.

Klassik nazariyaga asosan molekulaning to`la mexanik energiyasi erkinlik darajalari bo`yicha bir tekis taqsimlanadi va bitta erkinlik darajasiga to`g`ri kelgan energiya $\frac{1}{2}kT$ ga teng.

U holda (7.7) va (7.9) formulalarga asoslanib molekulalari bitta, ikkita va ko`p atomdan iborat bo`lgan ideal gazning o`zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig`imi (S_v) va o`zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig`imi (S_r) uchun quyidagi hisoblashlarni bajaraylik $i=3$ bir atomli gaz molekulasini uchun

$$C_v = \frac{i}{2}R = \frac{3}{2}R = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K} = 12,47 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$C_p = \frac{i+2}{2}R = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K} = 20,78 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$i=5$ ikki atomli gaz molekulasini uchun

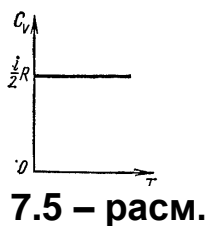
$$C_v = \frac{i}{2}R = \frac{5}{2}R = 20,78 \text{ J/mol}\cdot\text{K};$$

$$C_p = \frac{i+2}{2}R = \frac{7}{2}R = 29,09 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$i=6$ uch va undan ortiq atomlardan tashkil topgan molekulalar uchun

$$C_v = \frac{i}{2}R = \frac{6}{2}R = 24,94 \text{ J/mol}\cdot\text{K};$$

$$C_p = \frac{i+2}{2}R = \frac{8}{2}R = 33,25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$



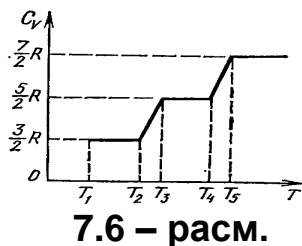
Bu topilgan natijalarni ba`zi gazlar uchun tajribada topilgan molyar issiqlik sig`imlari (S_v va S_r) bilan solishtiraylik. Bir atomli gazlar geliy uchun $S_v = 12,48$, $S_r = 20,94$ va argon uchun $S_v = 12,48$, $S_r = 21,23$ bu tajriba natijalari klassik nazariya asosida hisoblangan (7.26) ifodaga juda yaxshi mos kelganligini ko`ramiz. Molekulalari ikki atomdan tashkil

topgan N_2 , O_2 gazlar uchun [$C_v^{H_2} = 20,39$, $C_p^{H_2} = 28,76$; $C_v^{N_2} = 20,77$, $S_r = 28,64$] ham tajriba

va nazariya natijalari orasida yetarlicha moslik ((7.27) qarang) mavjudligiga qanoat hosil qilamiz. Lekin molekulalari uch va undan ortiq atomdan tashkil topgan gazlar uchun tajriba natijalari ($C_v^{H_2O} = 27,84$, $C_p^{H_2O} = 36,22$; $C_v^{CH_4} = 27,26$, $C_p^{CH_4} = 35,63$ suv bug`lari va metan gazlari uchun) nazariy hisoblarga ((7.28) qarang) mos kelmasligini ko`rib turibmiz.

Endi issiqlik sig`imining temperaturaga bog`liqligini tekshiraylik. Klassik nazariyaga asosan issiqlik sig`im temperaturaga bog`liq emas (7.5-rasmi).

Tajriba natijalari esa issiqlik sig`imning temperaturaga bog`liq ekanligini ko`rsatdi (7.6-rasmi). Rasmdagi grafikda molekula-lari ikki atomdan iborat bo`lgan gazlar uchun o`zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig`imning tempera-turaga bog`liqligi



tasvirlangan. Grafikdan shu narsa ko`rinadiki, S_v ning qiymati faqat ayrim temperaturalar oraliqlaridagina o`zgaraydi va ular i ning turli qiymatlariga mos keladi. Past va yuqori temperaturalarda amaliy qiymatlarning nazariy qiymatlardan farqi yetarli darajada kattadir. Amalda temperatura ko`tarilsa, S_v oshadi, temperatura pasaysa S_v kamayadi. Bulardan ko`rinadiki, tajriba yo`li bilan olingan natijalarni nazariy qiymatlardan farqini klassik nazariya tushuntirishga oqizdir. Klassik nazariya molekula va atomlarning aylanma va tebranma harakat energiyalari temperatura o`zgarishiga mos bo`lgan kT energiyaning **uzluksiz** qiymatlarini qabul qiladi deb tushuntiradi. Kvant mexanikasida esa atom sistemalar energiyasi **diskret** (uzlukli) qiymatlarga ega bo`la oladi deb, yoki boshqacha aytganda, atom sistemalar energiyasining o`zgarishi **sakrashsimon tarzda** amalga oshadi deb o`rganadi.

Shunday qilib, gaz issiqlik sig`imini tushuntirishdagi baosi qiyinchiliklar klassik nazariyaning chegaralanganligini ko`rsatadi. Bu esa molekularning harakati kvant mexanikasidagina to`la tushuntirilish mumkinligini ifodalaydi.

Tayanch tushunchalar: solishtirma issiqlik sig`imi, issiqlik miqdori, Mayer tenglamasi, issiqlik sig`im, temperatura, molyar issiqlik sig`im.

Agar termodinamik sistemaga qandaydir miqdorda issiqlik berilsa, u holda uning holati, yoki sistemaning ichki energiyasi o`zgaradi. Bunday o`zgarishlarning tavsiflari turli solishtirma issiqlik sig`imlaridir.

Solishtirma issiqlik sig`imi deb, 1 kg moddaning temperaturasini 1 K ga oshirganda, uning ichki energiyasining o`zgarishini ko`rsatuvchi fizik kattalikka aytiladi.

$$s = Q / (m \Delta T) \quad (1)$$

bu yerda c — solishtirma issiqlik sig`imi.

Solishtirma issiqlik sig`imining o`lchov birligi: $[J / (kg \cdot K)]$.

Jismni ma`lum Kelvin soniga qizdirish uchun, jismni doimiy hajmda yoki doimiy bosimda qizdirilayotganiga qarab, turli miqdorda issiqlik sarflash kerak. Shuning uchun solishtirma issiqlik sig`imi qizdirishda bosim va hajm qanday o`zgarishiga bog`liq. $P = const$ dagi s_r issiqlik sig`imiga doimiy bosimdagi issiqlik sig`imi, $V = const$ dagi c_v issiqlik sig`imiga esa doimiy hajmdagi issiqlik sig`imi deyiladi.

Agar jism doimiy hajmda qizdirilsa, barcha issiqlik uning ichki energiyasining o`zgarishiga sarflanadi, agar qizdirish doimiy bosimda olib borilsa, u holda issiqlik miqdori ish bajarish uchun sarflanadi va shuning uchun $s_r > c_v$ bo`ladi. Qattiq jism va suyuqliklar uchun deyarli doimo doimiy bosimdagi issiqlik sig`imi ko`rib chiqiladi.

M massali jismni T_1 temperaturadan T_2 temperaturagacha qizdirish uchun zarur bo`lgan issiqlik miqdorini:

$$Q = sm(T_2 - T_1) \quad (2)$$

formula bilan aniqlash mumkin.

Agar jism sovutilayotgan bo`lsa, u holda $T_1 > T_2$, shuning uchun jismni sovutishda ajralgan issiqlik miqdori

$$Q = sm(T_1 - T_2) \quad (3)$$

ga teng.

Jism temperaturasini bir birlikka o`zgartirish uchun unga berish yoki undan olish kerak bo`lgan issiqlik miqdoriga **issiqlik sig`imi** deyiladi.

$$C_0 = \frac{dQ}{dT} \quad (4)$$

Modda massasining birligiga to`g`ri keluvchi issiqlik sig`imi **solishtirma issiqlik sig`imi** deyiladi.

$$C = \frac{C_0}{m} = \frac{dQ}{mdT} \quad (5)$$

Moddaning bir moliga to`g`ri keluvchi issiqlik sig`imiga molyar issiqlik sig`imi deyiladi. Agar C_μ molyar issiqlik sig`imi bo`lsa, u holda solishtirma issiqlik sig`imi

$$C = \frac{C_\mu}{\mu} \quad (6)$$

bo'ladi.

Gazlarning issiqlik sig'imi ularning isitilish sharoitiga bog'liq bo'ladi.

Bir mol gazni qizdirish uning hajmi o'zgarmas saqlangan sharoitlarda amalga oshirilayotgan bo'lsin. Bunga mos issiqlik sig'imini $S_{v\mu}$ deb belgilaylik. Ta'rifga ko'ra

$$C_{v\mu} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_v \quad (7)$$

Bunda issiqlik faqat ichki energiyani o'zgarishiga ketadi, shuning uchun $dQ=dU$ va

$$C_{v\mu} = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v \quad (8)$$

bo'ladi. Ideal gaz bir molining ichki energiyasi $U = \frac{i}{2} RT$ (9)

bo'lganligi uchun (8) ga asosan molyar issiqlik sig'imi uchun quyidagi hosil bo'ladi:

$$C_{v\mu} = \frac{i}{2} R \quad (10)$$

Ititish bosim o'zgarmas saqlangan sharoitlarda amalga oshayotgan bo'lsin. Bunga mos issiqlik sig'imi o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi deb ataladi va uni $S_{p\mu}$ bilan belgilasak:

$$C_{p\mu} = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_p \quad (11)$$

bo'ladi. Energiyani saqlanish qonuni $dQ = dU + PdV = C_v dT + PdV$

ni e'tiborga olib, (11) tenglamani quyidagidek qayta yozamiz:

$$C_{p\mu} = C_{v\mu} + P \left(\frac{dV}{dT} \right)_p \quad (12)$$

Ideal gazning bir moli uchun $PV=RT$, shuning uchun $PdV = RdT$ va

$$P \left(\frac{dV}{dT} \right)_p = R \quad (13)$$

Buni (12) tenglamada e'tiborga olsak, $C_{p\mu} = C_{v\mu} + R$ (14)

hosil bo'ladi (10) va (14) formulalaridan ko'rinadiki, o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidan R kattalikcha ortiq bo'ladi:

$$C_{p\mu} - C_{v\mu} = R \quad (15)$$

Demak, universal gaz doimiysi son jihatdan 1 mol ideal gazni 1 Kelvinga o'zgarmas bosimda isitilganda gazning kengayishda bajargan ishiga teng ekan.

Gaz aralashmalari issiqlik sig'imi uning komponentalari issiqlik sig'imi yig'indisi bilan aniqlanadi. Agar aralashma komponentalari soni Z , ular massalari m_1, m_2, \dots, m_z komponentalar solishtirma issiqlik sig'imi mos holda S_1, S_2, \dots, S_z bo'lsa, u holda sistema issiqlik sig'imi:

$$m_1 C_1 + m_2 C_2 + \dots + m_z C_z = \sum_{i=1}^z m_i C_i \quad (16)$$

yig'indi bilan aniqlanadi.

$$\sum_{i=1}^z m_i C_i = \bar{C} \sum_{i=1}^z m_i \quad (17)$$

bo'yicha gaz aralashmasi effektiv solishtirma issiqlik sig'imi \bar{C} :

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^z m_i C_i}{\sum_{i=1}^z m_i} \quad (18)$$

ga teng. (2) va (3) dan ko‘rinib turibdiki, solishtirma effektiv issiqlik sig‘imini, issiqlik xossalari bo‘yicha gaz aralashmalari xossalariга ekvivalent bo‘lgan ayrim bir jinsli gazlar solishtirma issiqlik sig‘imi kabi qarash mumkin.

Aynan shunday holda effektiv molyar issiqlik sig‘imi tushunchasini kiritish mumkin. Agar komponentalar massasi m_1, m_2, \dots, m_z , ularning molyar massalari $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_z$ va ular molyar issiqlik sig‘imlari qiymatlari S_1, S_2, \dots, S_z bo‘lsa, u holda sistemaning issiqlik sig‘imi:

$$\frac{m_1}{\mu_1} C_1 + \frac{m_2}{\mu_2} C_2 + \dots + \frac{m_z}{\mu_z} C_z = \sum_{i=1}^z \frac{m_i}{\mu_i} C_i \quad (19)$$

yig‘indi bilan aniqlanadi.

$$\sum_i \frac{m_i}{\mu_i} C_i = \bar{C} \sum_i \frac{m_i}{\mu_i} \quad (20)$$

ga muvofiq molyar issiqlik sig‘imi \bar{C} :

$$\bar{C} = \frac{\sum_i \frac{m_i}{\mu_i} C_i}{\sum_i \frac{m_i}{\mu_i}} \quad (21)$$

ga teng bo‘ladi.

Shunday qilib, effektiv molyar issiqlik sig‘imi, issiqlik xossalari bo‘yicha gaz aralashmalari xossalariга ekvivalent bo‘lgan ayrim bir jinsli gazlar molyar issiqlik sig‘imidir.

Effektiv molyar massa tushunchasi qo‘llanilganda (19) munosabatni quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum_i \frac{m_i}{\mu_i} C_i = \bar{C} \frac{\sum_i m_i}{\mu} \quad (20)$$

Suyuq aralashmalar uchun gazlar singari effektiv molyar massani kiritish mumkin, biroq ular uchun aralashma komponentalari issiqlik sig‘imlari additivligidan kelib chiqib, effektiv issiqlik sig‘imini aniqlash mumkin emas. Bunday aralashmalarda kuchli molekulalararo o‘zaro ta‘sir tufayli bir komponenta molekulalari harakatini boshqa komponenta molekulalari harakatiga bog‘liq emas deb bo‘lmaydi.

Doimiy bosimdagi issiqlik sig‘imini doimiy hajmdagi issiqlik sig‘imiga nisbati gaz, suyuqlik va qattiq jismlarning xossalari termodinamik ifodalashda katta rol o‘ynaydi. Misol uchun bunday issiqlik sig‘imlari nisbati gazlarda tovushning tarqalish tezligiga va bikrlilik moduliga bog‘liqligini, quvurlarda gazlarning oqish tezligi ham shu nisbatga bog‘liqligini ko‘rsatamiz.

$$\gamma = C_p / C_v$$

kattalikning qiymati ham S_p issiqlik sig‘imi (suyuqlik va qattiq jismlar uchun uni o‘lchash qulay) bo‘yicha S_v aniqlanadi. Yyetarlicha siyraklashgan gazlar uchun (21) va Mayer tenglamasi

$$S_p = S_v + R \quad (21)$$

bo‘yicha doimiy hajmdagi issiqlik sig‘imini topish oson:

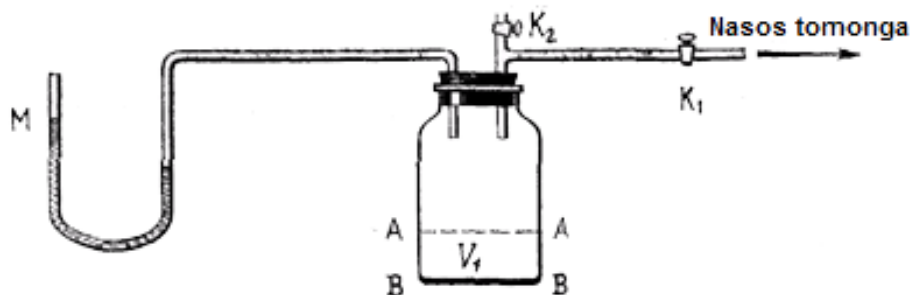
$$S_v = R / \gamma - 1 \quad (22)$$

$$A_{1,2} = \frac{m}{\mu} C_v (T_1 - T_2)$$

(22) tenglama xususan, adiabatik jarayondagi ishni quyidagi ko‘rinishda yozishga imkon beradi:

$$A_{1,2} = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2)$$

Gazlarda S_p / S_v nisbatni tajribaviy aniqlash uchun 1-rasmda ko‘rsatilgan asbobdan foydalanish mumkin.



1-rasm

Bu rasmda manometr M bilan ulangan shisha idish tasvirlangan. Idish havo nasosi bilan K_1 kran orqali va atmosfera havosi bilan K_2 kran orqali ulanadi. Ishni K_1 ochiqligida idishga havoni damlash bilan boshlanadi, bunda K_2 kran yopiq turadi (Damlab bo‘lingach K_1 kran ham yopib qo‘yiladi). Idishdagi tekshirilayotgan gazning dastlabki holati – bu havo temperaturasiga teng bo‘lgan yuqori bosim (atmosfera nisbatan) va temperaturadagi holatdir. Siqilganida idishdagi havo qiziganligi tufayli, damlashdan keyin siqilgan havo temperaturasi issiqlik almashinuvi tufayli yana xona temperaturasiga tenglashishi uchun bir oz vaqt kutiladi. Shundan keyin idishdagi boshlang‘ich bosim o‘lchanadi. U P_1 ga teng bo‘lsin.

Tajribaning birinchi qismi quyidagidan iborat: K_2 kran ochilib, undagi bosim atmosfera bosimi P bilan tenglashgunga qadar, havoning idishdan chiqib ketishi (kengayishi) uchun imkon yaratiladi, so‘ngra K_2 kran yana yopiladi.

Gazning kengayish jarayonini adiabatik deb hisoblash mumkin, chunki u juda tez boradi va devorlar orqali tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

K_2 kranning yopilishi bosimlar tenglashgan momentda olib boriladi. Adiabatik kengayish tufayli kranni yopish momentida idishdagi gaz sovugan bo‘ladi.

Jarayonning ikkinchi qismi quyidagicha: issiqlik almashinuvi tufayli idishdagi gazning temperaturasi dastlabki xona temperaturasiga tenglashgunga qadar kutiladi. Bunda idishdagi bosim qandaydir P_2 kattalikkacha oshadi va buni manometrdan ko‘rish mumkin.

Tajribaning birinchi qismi oxirida xayolan idishda aynan kengayishdan keyin idishning barcha V qismini egallaydigan gazning V_1 hajmini ajratamiz (1-rasmda bu qism AA va BB tekisliklar bilan ajratilgan). U holda tajribaning birinchi qismidagi havoning ajratilgan qismidagi holatning o‘zgarishi (K_2 kran yopilgunicha) Puasson tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$P_1 V_1^\gamma = P V^\gamma \quad (23)$$

Idishda qolgan gazning oxirgi holatini uning dastlabki holati bilan solishtirib (K_2 kran ochilishidan oldin), bu ikkala holat birgina temperaturaga taaluqli ekanligini ko‘rish mumkin va bu holatlar Boyle-Mariott qonuni bilan ifodalanadi:

$$P_1 V_1 = P_2 V \quad (24)$$

(23) va (24) dan o‘lchashning iloji bo‘lmagan V_1 ni qisqartiramiz. Buning uchun (24) tenglamani γ darajaga ko‘tarib, so‘ngra (23) ga bo‘lish kerak.

Natijada: $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^\gamma = \frac{P_1}{P}$ ga ega bo‘lamiz, logarifmlab:

$$\gamma = \frac{\lg \frac{P_1}{P}}{\lg \frac{P_1}{P_2}} \quad (25)$$

ni hosil qilamiz. Bu tajribada γ ni aniqlash R_l , R_g va R larni o‘lchashga olib keladi.

γ ni aniqlashning boshqa usuli asosida qattiq muhitlarda ultratovushning tarqalishini tekshirish yotadi. Ultratovush deb, chastotasi $2 \cdot 10^4$ Gers dan oshadigan mexanik tebranishlar yuzaga keltirgan to‘lqinlarga aytiladi.

Muhitda ultratovush tarqalayotganida muhitdagi o‘zgarishlarni ifodalash uchun nuqtaviy usuldan foydalaniladi: muhit elementar hajmlarga bo‘linib chiqiladi va bu hajmlarda bosim va temperaturaga ega bo‘lgan yetarlicha miqdorda molekullar mavjud. Muhitning ultratovush

oʻtadigan har bir elementar hajmda zichlik, bosim va temperatura davriy ravishda oʻzgarib turadi. Parametrlarning tez oʻzgarishi tufayli ultratovushning tarqalishini adiabatik deb hisoblash mumkin. Bundan tashqari, oʻlchamlarning kichikligidan elementar hajmlar ichidagi temperatura va bosimlar farqi haqida gapirib boʻlmaydi. Shuning uchun, tez oʻzgarishlarda muhitning ixtiyoriy hajmi muvozanatli oʻzgarish singari oʻzgarishni boshdan oʻtkazadi (kvazimuvozanatli jarayon). Tovush kvazimuvozanatli tarqalishida gaz va suyuqliklarda uning tezligi v_0 :

$$v_0 = \sqrt{\gamma \frac{1}{\rho_0 \alpha_t}} \quad (26)$$

$$\alpha_t = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_t$$

Formula bilan aniqlanadi va bu yerda ρ_0 - gʻalayonlanmagan muhit zichligi, siqilishning izotermik koeffitsiyenti. (7) dah v_0 , P_0 va α_t larni bilgan holda γ ni aniqlash mumkin.

Ideal gazlar uchun $\alpha_t = 1/P$ bolib, bu (26) ni quyidagi koʻrinishda yozishga imkon beradi:

$$a_0 = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

Holat tenglamasidan zichlik $\rho = \frac{\mu P}{RT}$ ni topib:

$$a_0 = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \quad (27)$$

koʻrinishga kelamiz.

Bu formula ultratovush tarqalishidagi ultratovushning tezligi, molyar massasi, va temperatura boʻyicha gazlar uchun γ kattalikni aniqlashga imkon beradi.

Quyidagi jadvalda $20^\circ C$ temperaturada ayrim gazlar uchun ultraakustik usul bilan aniqlangan γ ning qiymatlari berilgan:

	γ	Gazlar	γ
<i>He</i>	1,630	<i>O₂</i>	1,410
<i>Ar</i>	1,667	<i>N₂</i>	1,408
<i>Ne</i>	1,642	<i>SN₄</i>	1,32
<i>Xe</i>	1,666	<i>N₂O</i>	1,33

Tajriba natijalariga binoan bir atomli gazlar uchun γ ning qiymati 1,6 ga, ikki atomli gazlar uchun- 1,4 ga va ayrim koʻp atomli gazlar uchun -1,3 ga yaqin. Bu farqning sababini molekulyar-kinetik nazariya tushuntiradi.

11-MAʼRUZA. ISSIQLIK SIGʻIMINING KVANT NAZARIYASI TOʻGʻRISIDA TUSHUNCHA. PUASSON TENGLAMASI. POLITROPIK JARAYON.

Reja:

1. Termodinamikaning 1–qonunining izojarayonlarga tadbiqui.
2. Puasson tenglamasi.
3. Politropik jarayon.

Oldin kurganimiz kabi izotermik gaz xajmi oʻzgarganda bajarilgan ish

$$\int dA = \int p dv \quad (1)$$

Integralni izotermik buyicha olish kerak. Bunda r bosim oʻzluksiz xar xol uchun oʻzgargani

uchun uni integral ostidan chikarib bo'lmaydi va u gaz xolat tenglamasidan topiladi

$$pv = RT \quad P + \frac{RT}{v} \quad (2)$$

$$\text{bu kiymatni urniga kuysak } A = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (3)$$

kelib chikib, 1 mol gazning termik kengaygandagi bajarilgan

$$\text{ishi} \quad A = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (4)$$

bo'ladi ixtieriy massali gaz esa

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (5)$$

Bu tenglikni Boyle-Mariott konuniga asosan

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (6)$$

dan

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (7)$$

Ideal gaz xajmining adiabatik o'zgarishi.

Adiabatik protsessda gaz atrofga issiklik bermaydi xam, issiklik olmaydi xam, ya'ni $dQ=0$ TDning 1 konuniga asosan

$$dQ = dU + PdV \quad (1)$$

dan $dQ=0$

$$dU = -PdV \quad (2)$$

Demak gaz xajmining o'zgarishi bilan boglik bo'lgan ish ichki energiyaning o'zgarishiga ya'ni temperaturaning o'zgarishiga olib keladi. (2) ifodadagi minus ishora gaz xajmining ortishi uning temperaturasi pasayishiga, xajmi kamayishi temperaturaning kutarilishini kursatadi. Birinchi xolda ish gazning xususiy ichki energiyasi xisobiga bajaradi, shuning uchun xam gazning temperaturasi pasayadi. Ikkinchi xolda esa, tashqi kuch xisobiga ish bajariladi ana shu ish xisobiga gazning ichki energiyasi demak temperaturasi ortadi.

Gaz xajmining adiabatik o'zgarishi Boyle mariott konuniga buysunmagani uchun, xajmning bosimga boglik o'zgarish konuniyati kanday bulishini kuraylik. Buni birinchi puasson tekshirgan. Termodinamikaning birinchi konuniga

$$dQ = dU + PdV \quad (1)$$

da $dQ=0$ bo'lgani uchun

$$C_v dT + p dV = 0 \quad (2)$$

(2) tenglamadagi T ni

$$pV = RT \quad (3)$$

dan diffentsial olib

$$d(pv) = d(RT) \quad pdv + vdp = RdT \quad (4)$$

kurinishni oladi (4) dan dT ni topib

$$dT = \frac{pdv + vdp}{R} \quad (5)$$

$$(5)ni (2) ga kuyamiz \quad C_v = \frac{pdv + vdp}{R} + pdv = 0 \quad (6)$$

$$C_v pdv + C_v vdp + C_p pdv - C_v pdv = 0 \quad (7)$$

ekanini xisobga olsak

$$C_v vdp + C_p pdv = 0 \quad (8)$$

$$vdp + \frac{C_p}{C_v} pdv = 0 \quad (9)$$

$$\frac{dP}{v} + \frac{C_p}{C_v} \frac{dv}{v} = 0$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad (10)$$

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dv}{v} = 0 \quad (11)$$

Agar (11) dan integral olsak bundan $\ln p + \gamma \ln v = const$ (12)

$$pv^\gamma = const \quad (13)$$

(13) ni Puasson tenglamasi deb ataladi. ni esa adiabat kursatkichi deb ataladi. (13) ni T va V orqali ifodalasak

$$\frac{RT}{v} v^\gamma = const \quad (14)$$

(13) ni T va R orkali ifodalasak

$$\begin{aligned} Tv^{\gamma-1} &= const \\ \frac{T}{P^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}} &= const \\ T^\gamma P^{1-\gamma} &= const \\ TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} &= const \end{aligned} \quad (15)$$

Biz bayon qilgan izotermik va adiabatik protsesslar ideallashtirilgan protsesslardir. Birinchisi, karalaetgan sistema termostat bilan ideal kontaktda bo'lgan, ikkinchisi esa atrof muxitdan ideal izolatsiyalangan xolga tugri keladi. Bu ikki protsesslarning umumlashgan protsessi politropik protsessdir. Politropik protsess deb sistemaning issiklik sigimi S o'zgarish va ga teng bo'lib kolgan xoliga aytiladi.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad dQ = cdT \quad (12)$$

Termodinamikaning 1- konuniga kura

$$\begin{aligned} dQ &= dU + pdV \\ dQ &= C_v dT + pdV \end{aligned} \quad (13)$$

(1_ va (2) ni tenglasak

$$\begin{aligned} CdT &= C_v dT + pdV \\ (C - C_v)T &= pdV \end{aligned} \quad (14)$$

bundan

Agar xolat tenglamasini differentsiallasak va ni topsak

$$\begin{aligned} d(pV) &= d(RT) \\ pdV + VdP &= TdT \\ dT &= \frac{pdV + Vdp}{R} \end{aligned} \quad (15)$$

kelib chikadi Agar $R = C_p - C_v$ ekanini xisobga olib (4)ni (3)ga kuysak

$$\frac{(C - C_v)}{C_p - C_v} (pdV + Vdp) = pdV$$

xosil bo'ladi bundan

$$\frac{C - C_v}{C_p - C_v} pdV + \frac{C - C_v}{C_p - C_v} Vdp - pdV = 0$$

xosil bo'ladi. Uni ixchamlasak va soddalashtirsak

$$\begin{aligned} \left(\frac{C - C_V}{C_P - C_V} - 1 \right) p dV + \frac{C - C_V}{C_P - C_V} V dp &= 0 \\ \frac{C - C_V - C_P + C_V}{C_P - C_V} p dV + \frac{C - C_V}{C_P - C_V} V dp &= 0 \\ \frac{C - C_P}{C_P - C_V} \frac{dV}{V} + \frac{C - C_V}{C_P - C_V} \frac{dp}{p} &= 0 \\ \frac{dp}{p} + \frac{C - C_P}{C_P - C_V} \frac{dV}{V} &= 0 \\ \frac{dp}{p} + \frac{C - C_P}{C - C_V} \frac{dV}{V} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

(5) ni integrallsak $\ln p + \frac{C - C_P}{C - C_V} \ln V = \text{const}$ (17)

$$\frac{C - C_P}{C - C_V} = n$$

deb patentsirlasak

$$PV^n = \text{const} \quad (18)$$

xosil bo'ladi. Bu tenglama **politrona tenglamasi** deb ataladi. $C - C_{P/C} - C_V = n$ ni politrona kursatkichi deb ataladi.

Agar $s=0$ bulsa $dQ = CdT = 0$ bo'lib protsess adiabatik bo'ladi, ya'ni $\frac{C_P}{C_V} = \gamma$ ga aylanadi. Agar $C \rightarrow \infty$ bulsa bo'lib, protsess izotermik protsessga aylanadi. SHu sababdan politropik protsessning chegaraviy xollari adiabata va izotermalardir.

12-MA'RUZA. GAZ HAJMINING O'ZGARISHIDA BAJARILGAN ISH. IDEAL GAZLARDAGI IZOJARAYONLARGA TERMODINAMIKA 1-QONUNING AMALIY TADBIQLARI. ISSIQLIKNING KINETIK NAZARIYASI.

Reja:

1. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish.
2. Ideal gazlardagi izojarayonlarga termodinamika 1-qonunining amaliy tadbiqlari.
3. Issiqlikning kinetik nazariyasi.

Oldin kurganimiz kabi izotermik gaz xajmi o'zgarganda bajarilgan ish

$$\int dA = \int p dv \quad (1)$$

Integralni izotermik buyicha olish kerak. Bunda p bosim o'zluksiz xar xol uchun o'zgargani uchun uni integral ostidan chikarib bo'lmaydi va u gaz xolat tenglamasidan topiladi

$$pv = RT \quad P + \frac{RT}{v} \quad (2)$$

bu kiymatni urniga kuysak $A = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$ (3)

kelib chikib, 1 mol gazning termik kengaydagi bajarilgan

$$\text{ishi} \quad A = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (4)$$

bo'ladi ixtieriy massali gaz esa

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (5)$$

Bu tenglikni Boyl-Mariott konuniga asosan

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (6)$$

dan

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (7)$$

Ideal gaz xajmining adiabatik o'zgarishi.

Adiabatik protsessda gaz atrofga issiklik bermaydi xam, issiklik olmaydi xam, ya'ni $dQ=0$ TDning 1 konuniga asosan

$$dQ = dU + Pdv \quad (1)$$

dan $dQ=0$

$$dU = -Pdv \quad (2)$$

Demak gaz xajmining o'zgarishi bilan boglik bo'lgan ish ichki energiyaning o'zgarishiga ya'ni temperaturaning o'zgarishiga olib keladi. (2) ifodadagi minus ishora gaz xajmining ortishi uning temperaturasi pasayishiga, xajmi kamayishi temperaturaning kutarilishini kursatadi. Birinchi xolda ish gazning xususiy ichki energiyasi xisobiga bajaradi, shuning uchun xam gazning temperaturasi pasayadi. Ikkinchi xolda esa, tashqi kuch xisobiga ish bajariladi ana shu ish xisobiga gazning ichki energiyasi demak temperaturasi ortadi.

Gaz xajmining adiabatik o'zgarishi Boyl mariott konuniga buysunmagani uchun, xajmning bosimga boglik o'zgarish konuniyati kanday bulishini kuraylik. Buni birinchi puasson tekshirgan. Termodinamikaning birinchi konuniga

$$dQ = dU + Pdv \quad (1)$$

da $dQ=0$ bo'lgani uchun

$$CvdT + pdV = 0 \quad (2)$$

(2) tenglamadagi T ni

$$pV = RT \quad (3)$$

dan diffentsial olib

$$d(pv) = d(RT) \quad pdv + vdp = RdT \quad (4)$$

kurinishni oladi (4) dan dT ni topib

$$dT = \frac{pdv + vdp}{R} \quad (5)$$

$$(5)ni (2) ga kuyamiz \quad C_v = \frac{pdv + vdp}{R} + pdv = 0 \quad (6)$$

$$C_v pdv + C_v vdp + C_p pdv - C_v pdv = 0 \quad (7)$$

ekanini xisobga olsak

$$C_v vdp + C_p pdv = 0 \quad (8)$$

$$vdp + \frac{C_p}{C_v} pdv = 0 \quad (9)$$

$$\frac{dP}{v} + \frac{C_p}{C_v} \frac{dv}{v} = 0$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad (10)$$

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dv}{v} = 0 \quad (11)$$

Agar (11) dan integral olsak bundan $\ln p + \gamma \ln v = \text{const}$ (12)

$$pv^\gamma = \text{const} \quad (13)$$

(13) ni Puasson tenglamasi deb ataladi. ni esa adiabat kursatkichi deb ataladi. (13) ni T va V orqali ifodalasak

$$\frac{RT}{v} v^\gamma = \text{const} \quad (14)$$

(13) ni T va R orkali ifodalasak

$$\begin{aligned} T v^{\gamma-1} &= \text{const} \\ \frac{T}{P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} &= \text{const} \\ T^\gamma P^{1-\gamma} &= \text{const} \\ TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} &= \text{const} \end{aligned} \quad (15)$$

Biz bayon qilgan izotermik va adiabatik protsesslar ideallashtirilgan protsesslardir. Birinchisi, karalaetgan sistema termostat bilan ideal kontaktda bo'lgan, ikkinchisi esa atrof muxitdan ideal izolatsiyalangan xolga tugri keladi. Bu ikki protsesslarning umumlashgan protsessi politropik protsessdir. Politropik protsess deb sistemaning issiklik sigimi S o'zgarish va ga teng bo'lib kolgan xoliga aytiladi.

13-MA'RUZA. IDEAL GAZNING ICHKI ENERGIYASI. ICHKI ENERGIYANING ERKINLIK DARAJALARI BO'YICHA TENG TAQSIMOTI QONUNI. KVAZISTATIK PROSSES

Reja:

1. Ideal gazning ichki energiyasi.
2. Ichki energiya erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimoti qonuni.

Ideal gaz molekulasi kintik energiyasi

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

ga teng. Agar gazda molekulalar soni (1 molda) Na ga teng deb karasak, u gazning ichki energiyasi

$$u = \frac{3}{2} N_a kT \quad (2)$$

Bu yerda $N_a k = R$ ekanini xisobga olsak $u = \frac{3}{2} RT$ (3)

Bu ifoda ideal gaz ya'ni 1 atomli gazning 1 molining ichki energiyasi

$$u = \frac{m}{\mu} \frac{3}{2} RT \quad (4)$$

Ixtiyoriy massani gazning ichki energiyasi

Zarraning bitta erkinlik darajasiga to'g'ri keladigan o'rtacha energiya $U/3N$ sistemaning muhim xarakteristikasi bo'lib, **uni statistik temperatura, absolyut temperatura** deb ataladi, va u quyidagi tenglik bilan kiritiladi:

$$\frac{\theta}{2} = \frac{kT}{2} = \frac{U_k}{3N} \quad (5)$$

Bu yerda $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ - o'lchamlik va masshtablarni muvofiqlashtiruvchi Boltsman doimiysidir. Temperatura energetik ma'noga egadir, lekin bu ma'lum bo'lmagan davrlarda TSelsiy, Kelvin kabi birliklar kiritilgan edi va ular keng qo'llaniladi. SI xalqaro birliklar sistemasida temperaturani Kelvin birligi qabul qilingan. θ – energiya birligida, T – Kelvin birligida o'lchanuvchi temperaturadir, ular $\theta = kT$ tenglik bilan bog'langan.

$$(9) \text{ ga asosan: } kT = 2U_k / 3N = U_k / \nu, \quad (6)$$

Bu yerda $\nu = 3N/2$ sistema erkinlik darajasini xarakterlovchi parametr (erkinlik darajalari sonining yarmi).

Temperatura o'rtacha miqdor bo'lgani uchun **makroskopik**, butun sistemani xarakterlovchi miqdordir. (8) va (9) ga asosan:

$$kT = \overline{m g_\alpha^2}, \quad \alpha = x, y, z \quad (7)$$

$$\frac{3}{2} kT = \frac{\overline{m g^2}}{2} \quad (8)$$

(8) tenglikdagi T – makroskopik parametr, temperaturani o'lchovidir. SHu yerdagi $\overline{m g_\alpha^2}$ - molekular – kinetik tasavvurlar asosida olingan fizik parametrdir, u ham aynan o'sha fizik mohiyatni, temperaturani tasniflaydi. SHunday qilib bir fizik mohiyat ikki xil ta'riflanar ekan, ular faqat o'lchamlari va masshtablari bilan farqlanadi, (11) tenglikdagi k ularni o'lcham va masshtablarini moslashtiruvchi koeffitsientdir.

(9)–(12) ifodalar temperaturani bir-biriga ekvivalent bo'lgan ta'riflaridir. Jumladan (11) ga asosan **energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanishi qonuni** kelib chiqadi:

$$\frac{\overline{m g_\alpha^2}}{2} = \frac{kT}{2}$$

17-MA'RUZA. KO'CHISH JARAYONLARINING ELEMENTAR KINETIK NAZARIYASI. MOLEKULYAR HARAKATLAR VA KO'CHISH HODISALARI. EFFEKTIV KESIM YUZI. O'RTACHA ERKIN YUGURISH YO'LI.

Reja:

1. *1. Molekulyar harakatlar va ko'chish hodisalari.*
2. *Effektiv kesim yuzi.*
3. *O'rtacha erkin yugurish yo'li.*

Termodinamik parametrlarni intensiv va ekstensiv turlarga ajratilgan edi. Intensiv parametrlar: **bosim, zichlik, zarralar kontsentratsiyasi, temperatura** - sistemaning muvozanat holatini tafsiflaydigan parametrlardir. Ular butun sistemanigina emas, sistemaning turli makroskopik qismlarini ham harakterlaydi. Sistemani muvozanatdan chiqishi – sistemaning biron qismida shu parametrlarning o'rtacha qiymatdan chetlashishidan iborat. Bunday chetlashishlar tashqi ta'sir tufayli bo'lishi mumkin. Lekin tashqi ta'sirsiz ham, termodinamik sistema ko'plab betinim, tartibsiz harakatlanuvchi zarralardan iborat bo'lgani uchun, intensiv termodinamik parametrlarning o'rtacha qiymatdan chetlashishi ro'y berishi mumkin. Termodinamik sistemaning kichik sohalarida ro'y beradigan bunday chetlashishlarni **fluktuatsiyalar** deyiladi. Fluktuatsiyalarning mavjudligi Broun harakatida namoyon bo'ladi. Bu yerda fluktuatsiyalar mavjudligidan tashqari, fluktuatsiyalarning so'nish mexanizmi mavjudligiga e'tibor beraylik. Masalan fluktuatsiya gazli sistemadagi bosimning biron kichik sohada kamayishidan iborat bo'lsa, zarralarning tinimsiz harakati tufayli bu yerdagi bosim tezda o'rtacha qiymatga qaytadi va mayatnikning tebranishiga o'xshab, o'rtacha qiymatdan oshib ketadi - bosimning o'rtacha qiymati atrofida tebranishlari kuzatiladi. Shuning uchun fluktuatsiyalarni kichik tebranishlar sifatida o'rganish mumkin. Bu bo'limda sistemaning nomuvozatli holatida bo'ladigan jarayonlarni tekshiramiz.

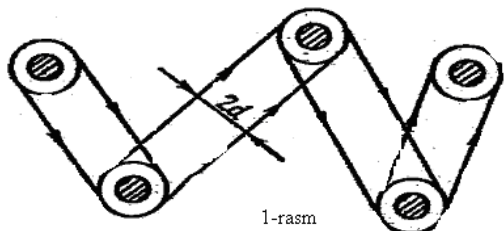
Normal sharoitda molekularlarning tezliklari katta bo'ladi, ayrim zarralarning tezligi tovushning tezligidan ham ortiq bo'ladi. Diffuziyani tezligi bundan o'nlab marta kichikdir. Bunday katta tafovutning sababi nimada ekan degan savol tug'iladi. Aftidan, molekularlar erkin, to'g'ri chiziqli harakatlana olmasdan, balki Broun harakatidagi kabi o'zaro to'qnashib, sochilib, siniq chiziq bo'ylab harakatlanadi. Bunday to'qnashuvlar tasodifiy bo'lishi tabiiydir, lekin

tasodifiy miqdorlarning ham o'rtacha qiymatlari bo'ladi, o'rtacha qiymatidan chetlashishi bo'ladi, xullas to'qnashuvlar statistik tarzda tafsiflanadi. Gaz molekularining bunday tasodifiy tarzda to'qnashuvlari ko'chish jarayonlarini tushuntirishda asosiy ahamiyatga ega.

Gaz zarralarining ikki to'qnashuv orasidagi **o'rtacha erkin yugurish yo'lini** \bar{l} deb belgilanadi. Zarralarni o'rtacha tezligi \bar{g} , vaqt birligidagi to'qnashuvlarni o'rtacha soni z bo'lsin, ular orasida

$$\bar{g} = \bar{l} z \quad (1)$$

bog'lanish o'rinlidir. To'qnashuvlarni ko'pligi zarralarning o'lchamlariga va konsentratsiyasiga bog'liqdir. Soddalik uchun zarralarni d diametrli sferik qattiq zarralardan iborat bo'lsin. Bitta zarra harakatda, qolganlari tinch turgan bo'lsin. Agar harakat paytida ikkinchi shunday zarra markazi birinchi, harakatdagi zarra markazidan d yoki kichikroq masofada bo'lsa, to'qnashuv ro'y beradi (1-rasm). SHuning uchun zarrani **effektiv kesimi** $\sigma = \pi d^2$ deb olinadi (zarraning



kesim yuzasidan 4 marta ortiq). Vaqt birligida zarra $\bar{g}\sigma$ hajmni bosib o'tadi, demak $z = n\bar{g}\sigma$ to'qnashuv ro'y berishi kerak (n - zarralar konsentratsiyasi). Buni (1) ga qo'ysak, $\bar{l} = 1/n\sigma$ natijaga kelamiz.

Real holda zarralarning hammasi ham issiqlik harakatida bo'ladi, ularning orasidagi nisbiy tezlik o'rtacha tezlikdan $\sqrt{2}$ marotaba ortiq bo'ladi, birlik vaqtdagi to'qnashuvlar soni ham $\sqrt{2}$ marotaba ortiq

$$z = \sqrt{2}n\bar{g}\sigma, \quad (2)$$

erkin yugurish yo'li esa $\sqrt{2}$ marta kamroq bo'ladi:

$$\bar{l} = 1/\sqrt{2}n\sigma. \quad (3)$$

Gaz zarralarini qattiq sferala sifatida tasavvur etish - ilmiy gipotezadan iboratdir. Atom va molekular zaryadli zarralardan (birinchi navbatda elektronlardan) tuzilgan bo'lib, ular turli masofalarda ham ta'sirlashadi, bir-biriga yaqinlashganlarida traektoriyalarini o'zgartirib, sochilishadi. Lekin bu sochilishlarni o'rganish uchun effektiv kesim deb nomlanadigan fizik miqdorni kiritishga hech qanday mone'lik yo'q, va bu tushuncha molekular fizikada unumli ravishda qo'llaniladi. Uni doimiy son emas, sharoit bilan o'zgarishi mumkin bo'lgan parametr sifatida qaralishi kerak. Jumladan σ ning temperaturaga kuchsiz bog'lanishi o'rganiladi.

24-MA'RUZA. GAZLARDA DIFFUZIYA, ICHKI ISHQALANISH VA ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK. QOVUSHQOQLIK VA IMPULS KO'CHISHI.

Reja:

1. Qovushqoqlik va impuls ko'chishi.
2. Diffuziya va modda ko'chishi.
3. Issiqlik o'tkazuvchanlik
4. Gazlarda diffuziya. Fik qonuni.

Ichki ishqalanish (qovushqoqlik) gaz va suyuqliklarning xossasi bo'lib, ularni qatlamlari bir-biriga nisbatan harakatlanganda ular orasida qarshilik kuchining vujudga kelishi orqali namoyon bo'ladigan xossadir. Masalan daryodagi suvning pastki, tubidagi qatlami harakatsiz bo'ladi, yuqoriga ko'tarilgan sari suv qatlamlarining tezligi kattaroq bo'ladi. Suvdagi ichki ishqalanish yuqori qatlamlarning tezligini ham cheklab turadi. Qatlamlar orasidagi kuch shu oraliqdagi tekislik yo'nalishida bo'lib, qatlamlar orasidagi tezlikni qanchalik tez o'zgarishiga (tezlikning gradientiga) va yuzaga proporsionaldir:

$$dF = -\eta \frac{\Delta g}{\Delta z} dS \quad (1)$$

Bu kuch Δz masofadagi qatlamlarning tezliklari Δg ga farq qilgani uchun vujudga keladi va

shu tezliklarning farqini kamaytirishga harakat qiladi, minus ishora shuni bildiradi. Proportsionallik koeffitsienti η qovushqoqlik koeffitsienti deb ataladi, unga teskari bo'lgan $\varphi = 1/\eta$ miqdor **oquvchanlik** deb ataladi. Qovushqoqlikning birligi (1) ifodadan kelib chiqadi: $[\eta] = kg/ms = Pa \cdot s$.

Ichki ishqalanishli oqimning (1) asosiy qonuniyati I.Nyuton tomonidan 1687 yilda aniqlangan edi.

Ichki ishqalanishning sababi – harakatdagi qatlamlardagi molekulalarning o'zaro ta'siri va qatlamlar orasida zarralar almashib turishidan iborat. Bunday jarayonlarni o'rganib, qovushqoqlik koeffitsientini zarralarning xarakteristikalarini orqali ifodalash mumkin.

Diffuziya – bir turdagi zarralarning ikkinchi turdagi zarralar orasiga kirib borishi, aralashishidan iborat. Bu jarayon zarralarning issiqlik harakati tufayli va boshlang'ich taqsimotni birjinsli emasligi, muvozanatda emasligi tufayli ro'y beradi. Diffuziya kontsentratsiyaning yoki zichlikning kamroq bo'lgan tomonga qarab yo'naladi va oxir oqibatda kontsentratsiyaning birjinsli bo'lishiga olib keladi. Diffuziya gazlarda, suyuqliklarda, qattiq jismlarda ro'y berishi mumkin, bunda atom va molekulalarning diffuziyasi issiqlik harakati bilan bog'liq, chang kabi zarralarning diffuziyasi esa Brown harakati bilan bog'liq. Gazlardagi diffuziya jarayoni tez bo'ladi, qattiq jismlardagisi nihoyatda sekin ro'y beradi. Gazlardagi diffuziyaning tezligini hidlarni havoda tez va uzoqqa tarqalishidan bilish mumkin, ayrim jonivorlar ko'plab kilometr masofadagi manba'lardan tarqalayotgan hidlarni sezishi mumkin. Suvdagi va havodagi rangli moddalarning diffuziyasini (masalan tutun yoki siyoxni) ko'z bilan ham kuzatsa bo'ladi.

Diffuziya jarayonida massa oqimi, ya'ni dt vaqtda dS yuza orqali o'tgan modda miqdori (1) dagi kabi modda zichligining gradientiga, vaqt va yuzaga proporsional bo'ladi. Masalan z yo'nalishdagi diffuziya uchun:

$$dm = -D(\partial\rho/\partial z)dSdt \quad (2)$$

ifoda o'rinlidir. Minus ishora moddaning oqimi kontsentratsiyaning oshib borish yo'nalishiga nisbatan teskari ekanligini bildiradi. Diffuziya koeffitsienti D ning birligi: $[D] = m^2/s$. Diffuziya hodisasi diffuziyalanuvchi moddaning xossalariidan tashqari qanday moddada diffuziya ro'y berayotganiga ham bog'liqdir. (2) munosabat Fik qonunidir. (2) tenglikni ikki tomonini zarra massasiga bo'lib yuborsak:

$$dN = -D(\partial n/\partial z)dSdt \quad (3)$$

Agar kontsentratsiya va zichlik faqat z yo'nalishida o'zgarsa, xususiy xosila to'liq xosila bilan almashtiriladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik barcha moddalarning xususiyatidir. Qaerda temperaturalar farqi vujudga kelsa, bu farqni yo'qotishga, termodinamik muvozanatni tiklashga yo'nalgan issiqlik oqimi vujudga keladi va uning intensivligi temperaturaning gradientiga, temperaturani masofa bilan qanchalik tez o'zgarishiga proporsional, yo'nalishi esa temperatura gradientiga teskari yo'nalgandir:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (4)$$

Bu yerda:

$$\text{grad}T = \vec{i} \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial T}{\partial z},$$

λ - **issiqlik o'tkazuvchanlik** koeffitsienti deyiladi, uning qiymati temperaturaga bog'liq bo'lmay, issiqlik o'tkazuvchanlikni mexanizmiga bog'liq, gazlarda, suyuqliklarda, qattiq jismlarda turlichadir. Jumladan o'tkazgich va dielektriklardagi issiqlik o'tkazuvchanliklar bir-biridan keskin farq qiladi. (4) tenglik Fure qonuni deyiladi.

Temperatura bitta koordinata (masalan z) bo'ylab o'zgarsa, (4) ifoda quyidagi shaklga keladi:

$$q = -\lambda(\partial T/\partial z) \quad (5)$$

q – birlik vaqt ichida birlik yuza orqali o'tgan issiqlik miqdorini bildiradi. $d\vec{S}$ sirt orqali dt vaqt oralig'ida o'tgan dQ issiqlik miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ = \bar{q}d\bar{S}dt = -\lambda gradT d\bar{S}dt \quad (6)$$

Bu ifodani yuza va vaqt bo'yicha integrallab, issiqlikning to'liq oqimini topish mumkin. Agar temperatura faqat z koordinata bo'ylab o'zgarsa, unga tik yuza orqali issiqlik oqimi quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ = -\lambda(dT/dz)dSdt \quad (7)$$

λ - issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining birligi (4) ifodaga ko'ra topilishi mumkin: $[\lambda] = J/msK$.

Ko'chish hodisalari orasida issiqlik o'tkazuvchanlik ayniqsa univesal jarayondir. Masalan ichki ishqalanish hodisasi faqat gaz va suyuqliklarga xos bo'lsa, issiqlik o'tkazuvchanlik moddaning barcha agregat holatlariga xosdir, va hattoki modda yo'q bo'lgan sohada, absolyut vakuumda ham issiqlik o'tkazuvchanlik jarayoni ketaveradi, faqat elektromagnit nurlanish hisobiga ro'y beradi. SHuning uchun issiqlik o'tkazuvchanlikni batafsilroq o'rganishga asos bor.

Issiqlik oqimi mavjud bo'lgan sharoitda energiya ballansini ko'rib chiqaylik. Issiqlik oqimi \bar{q} vektor bilan ifodalanar ekan, vektorlar analizi metodlariga ko'ra $div\bar{q}$ birlik hajm sirtidan chiqib ketayotgan issiqlik miqdorini bildiradi, buni hisobiga birlik hajmning issiqlik engergiyasi o'zgarishi kerak. Unda engergiyaning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_v T) + div\bar{q} = 0 \quad (8)$$

Bu yerda c_v - moddaning solishtirma issiqlik sig'imi, ρ - zichligi.

(8) ko'rinishdagi tenglama uzluksizlik tenglamasi deyiladi va hamma vaqt bironta fizik miqdorni saqlanishini ifodalaydi. Agar issiqlik ballansiga hissa qo'shadigan bironta boshqa jarayon ham bo'lsa (yorug'likning yutilishi, elektr tok, yoki boshqa jarayon), uni hissasi tenglamaning o'ng tarafiga yoziladigan issiqlik manbaini zichlik funktsiyasi F bilan hisobga olinishi mumkin. \bar{q} ning (4) ifodasini (8) ga olib kelib qo'ysak, quyidagi *issiqlik o'tkazuvchanlik* tenglamasini xosil qilamiz:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_v T) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) + F \quad (9)$$

ρ , λ va c_v miqdorlar birjinsli bo'lmagan muhitlarda koordinatalarga, temperaturaga bog'liq bo'lishi mumkin, shuning uchun umumiy holda xosila belgisini ostida turishi kerak. Agar o'rganilayotgan hajm birjinsli va izotrop bo'lsa, λ , ρ va c_v miqdorlarni xosila belgisidan chiqarib yuborishimiz mumkin:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \Delta T + f \quad (10)$$

Bu yerda $f = F/\rho c_v$, $a^2 = \lambda/\rho c_v$ - temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsienti, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - Laplas operatori deyiladi. Statsionar hollarda tenglamaning chap tarafi nolga aylanib, xosil bo'lgan $\Delta T = -f/a^2$ tenglamani Puasson tenglamasi deyiladi. Issiqlik manbai bo'lmasa Laplas tenglamasini xosil qilamiz: $\Delta T = 0$.

(9) va (10) ifodalar xususiy xosilali differentsial tenglamalar deb ataladi, $T(x, y, z, t)$ - umumiy holda to'rt argumentli funktsiya bo'lib, tenglamani yechib topilishi kerak. Tenglama yechilishi uchun temperaturani boshlag'ich taqsimoti $T(x, y, z, t_0)$ ham berilishi kerak. SHunda muhitdagi temperatura taqsimoti vaqt o'tishi bilan qanday o'zgarishini izlash mumkin. Lekin bu matematik jihatdan juda murakkab masala bo'lib, faqat xususiy hollardagina analitik yechilishi mumkin (buni matematik fizika fanida yuqori kurslarda ko'riladi). Kompyuter texnikasini va sonli metodlarni rivojlanishi (9) - (10) tipidagi murakkab tenglamalarni nisbatan murakkab sharoitlar uchun ham hisoblash imkoniyatlarini ochmoqda. Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi uning yechimini murakkabligidan qat'iy nazar muhitdagi temperaturani o'zgarishi boshlang'ich temperatura va muhitning issiqlik hossalari bilan belgilanishini ko'rsatadi.

Turli tajribalar yordamida ko'chish koeffitsientlarining qiymatlarini topish mumkin.

Quyida ko'chish hodisalarini gazlarda amalga oshish mexanizmlari bilan batafsil tanishamiz. Bu mexanizmlar ko'chish koeffitsientlarini ichki parametrlar orqali nazariy ifodalash imkonini beradi.

Gazlarda diffuziya. Fik qonuni.

Bir-biriga tegib turgan ikki yoki bir necha modda molekulalarining issiqlik harakati tufayli bir-birining ichiga singib o'tish hodisasi **diffuziya** deb ataladi. Gaz tarkibi jihatidan bir jinsli bo'lmagan hollarda ham, ya'ni u konsentrasiyasi nuqtadan nuqtaga o'zgaruvchi ikki yoki bir necha komponentadan tarkib topgan hollarda ham gazda diffuziya vujudga keladi. Diffuziya jarayonida aralashma komponentalaridan har biri gazning bu komponenta konsentrasiyasi katta bo'lgan qismlaridan konsentrasiyasi kichik bo'lgan qismlariga o'tishi ro'y beradi.

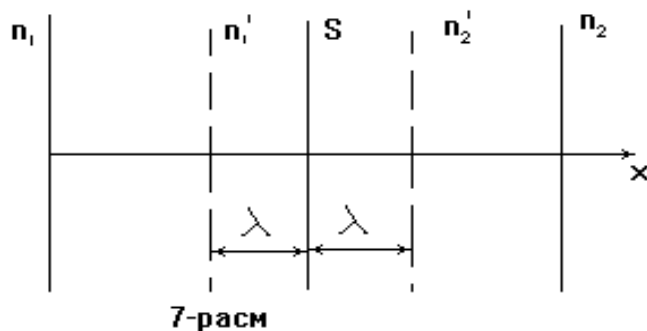
Diffuziya hodisasini miqdoriy tavsiflash uchun diffuziya oqimi tushunchasi kiritilgan. **Diffuziya oqimi** diffuziyalanuvchi komponentaning vaqt biriligi ichida diffuziya yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan yuzga birligidan o'tgan molekulalar soni bilan o'lchanadi.

Tajribalar biror komponentaning diffuziya oqimi shu komponenta konsentrasiyasi (zichligi) gradiyentiga proporsional ekanligini ko'rsatadi (Fik qonuni). Agar gaz aralashmasining, bizni qiziqtirgan komponentasining, konsentrasiyasi faqat X yo'nalish bo'ylab o'zgarsa, u holda konsentrasiya gradiyenti, ya'ni konsentrasiyaning X yo'nalish bo'ylab o'zgarish tezligi dn/dx bo'ladi va diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni) shunday ifodalanadi:

$$N = -D \frac{dn}{dx} \quad (1)$$

bundagi D **-diffuziya koeffitsiyenti** deb ataladi. U konsentrasiya gradiyenti bir birlikka teng bo'lgandagi diffuziya oqimiga son jihatdan teng bo'lgan kattalikdir.

Diffuziya stasionar yoki nostasionar bo'lishi mumkin. Stasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o'zgarmay qoladi. Shu sababli diffuziya oqimi ham o'zgarmaydi.



Nostasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o'zgaradi. Shunga muvofiq ravishda vaqt o'tishi bilan diffuziya oqimi ham o'zgaradi.

Stasionar diffuziya: Gaz aralashmalaridan birining diffuziyasi X yo'nalishda ro'y berayotgan bo'lsin. Bu yo'nalishda konsentrasiya gradiyenti vaqt o'tishi bilan o'zgarmasdan qolsin.

Bunday holdagi diffuziya, ya'ni ixtiyoriy ikki nuqta orasidagi konsentrasiyalar farqi o'zgarmasdan qoladigan holda yuz beradigan diffuziyaga **stasionar diffuziya** deb ataladi.

Stasionar diffuziyadan foydalanib, diffuziya koeffitsiyentini topishga harakat qilamiz. Diffuziya yo'nalishiga (X ga) perpendikulyar bo'lgan S yuzani olaylik (7-rasm). Aniqlik uchun $n_1 > n_2$ deb olaylik. Yuzaning har ikki tomonidagi konsentrasiyalar farqi tufayli X o'qi bo'ylab yuzaga keluvchi diffuziya oqimi S yuzaning 1 sm^2 ni 1 c da X o'qning musbat qiymatlari yo'nalishida kesib o'tayotgan molekulalar soni N_1 bilan ana shu vaqt ichida qarama-qarshi yo'nalishda kesib o'tayotgan molekulalar soni N_2 orasidagi ayirmaga teng bo'ladi:

$$N = N_1 - N_2 \quad (1)$$

Agar barcha molekulalar birday \bar{v} tezlik bilan harakat qilmoqda deb olinsa, u holda molekulalarning harakati barcha o'qlar bo'ylab teng ehtimolli ekanini hisobga olib, N_1 va N_2 larni quyidagi munosabatlar orqali ifodalash mumkin:

$$N_1 = \frac{1}{6} n_1' \bar{v} \quad N_2 = \frac{1}{6} n_2'' \bar{v}$$

Bu yerda n_1' va n_2'' molekulalarning S yuzaning ikki tomonidan $\bar{\lambda}$ masofadagi konsentrasiyalari.

U holda diffuziya oqimi N_1 (1) va (2) tenglamalarga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$N = \frac{1}{6}(n_1' - n_2'')\bar{g} \quad (3)$$

bu yerda $n_1' - n_2''$ bir-biridan $2\bar{\lambda}$ masofada turgan nuqtalardagi konsentrasiyalar farqi. Agar konsentrasiya gradiyenti qiymati $\frac{dn}{dx}$ bo'lsa, bu farq

$$n_1' - n_2'' = -2\bar{\lambda} \frac{dn}{dx} \quad (4)$$

ga teng bo'ladi. (4) ni e'tiborga olib, diffuziya oqimi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$N = -\frac{1}{3}\lambda g \frac{dn}{dx}$$

Bu ifodani Fik qonuni ifodasi $N = -D \frac{dn}{dx}$ bilan taqqoslab diffuziya koeffitsiyenti uchun bizni qiziqtirgan ifodani olamiz: $D = \frac{1}{3}\bar{g}\bar{\lambda}$

Bu ifodadagi $\bar{\lambda}$ bosimga teskari proporsional bo'lganligi uchun diffuziya koeffitsiyentining ham gaz bosimiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi. $\bar{g} \sqrt{T}$ ga proporsional, bundan tashqari temperaturaning ortishi $\bar{\lambda}$ ning biroz bo'lsada ortishiga olib keladi. Shu sababli diffuziya koeffitsiyenti \sqrt{T} dan kattaroq bo'lgan miqdorga proporsional.

Nazorat savollari:

1. Diffuziya deganda nimani tushunasiz ?
2. Diffuziya koeffitsiyenti nima ?
3. Fik qonuni haqida gapirib bering.

25-MA'RUZA. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI. ISSIQLIKNI MEXANIKAVIY ISHGA AYLANTIRISH. QAYTAR VA QAYTMAS JARAYONLAR. AYLANMA SIKLIK JARAYONLAR.

Reja:

1. Qaytar va qaytmas jarayonlar.
2. Issiqlik miqdori va sig'imi.
3. Termodinamikani 1- bosh qonuni va uni izojarayonlarga qo'llanilishi.
4. Aylanma jarayonlar.

1. Termodinamik sistemaning to'liq energiyasi W , sistemaning o'zining yoki uning makroskopik qismlarining mexanik harakat kinetik energiyasi W_k^{mex} ni, sistemaning tashqi maydondagi (gravitatsion yoki elektromagnit) potensial energiyasi W_n^{tash} ni va faqat sistemaning ichki holatiga bog'liq bo'lgan *ichki energiya* U ni o'z ichiga oladi. Ayrim oddiy holatlarda sistemaning to'liq energiyasi yuqorida ko'rsatilgan energiya ko'rinishlarining yig'indisiga teng:

$$W = W_k^{mex} + W_n^{tash} + U \quad (9.1)$$

Biz bundan keyin makroskopik qo'zg'almas va tashqi maydon ta'siriga berilmagan termodinamik sistemalarni ko'rib o'tamiz. Bunday sistemalarda to'liq energiya qiymati ichki energiya qiymatiga mos keladi.

2. Ichki energiya *mumkin bo'lgan barcha ko'rinishdagi harakat energiyalarini va sistemani tashkil qilgan hamma zarralarning (molekula, atom va x.z.) o'zaro ta'sir energiyalarini* o'z ichiga oladi.

Masalan, gaz holatda bo'lgan sistemaning ichki energiyasi quyidagi tashkil etuvchilardan iborat:

- a) molekulalarning tartibsiz (issiqlik) ilgarilanma, aylanma va molekuladagi atomlarning tebranma harakat kinetik energiyalari;
- b) molekulalarni o'zaro ta'siri bilan bog'liq bo'lgan potensial energiya;

- v) atom va ionlarning elektron qobiqlari energiyasi;
- g) atom yadrosidagi nuklonlarning harakat va o'zaro tasir energiyasi.

Ichki energiya termodinamik sistema holatining bir qiymatli funksiyasidir. Sistemani ixtiyoriy tanlangan holatdagi ichki energiyasining qiymati uni bu holatga qanday qilib kelib qolganiga bog'liq emas. Boshqacha aytganda sistemani 1 holatdan 2 holatga o'tganda ichki energiyaning o'zgarishi ΔU_{1-2} , jarayonlarning turiga bog'liq emas va $\Delta U_{1-2} = U_2 - U_1$ ga teng. Xususan, agar sistema qandaydir jarayon natijasida yana dastlabki holatiga qaytsa, ichki energiyaning to'liq o'zgarishi nolga teng bo'ladi.

3. Ichki energiya mexanikadagi potensial energiya kabi o'zgarimas qo'sxiluvchi U_0 gacha aniqlikda aniqlanadi, U_0 esa ichki energiya uchun "hisob boshini" tanlanishiga, ya'ni ichki energiya nolp deb qabul qilinadigan holatning tanlanishiga bog'liq. Barcha termodinamik hisoblashlarda ichki energiyaning absolyut qiymati emas, balki U_0 ga bog'liq bo'lgan uning o'zgarishi ΔU aniqlanadi. Shuning uchun U_0 ning tanlanishi rolp uynamaygi.

Kimyoviy reaksiyalarga, atom va ionlarning elektron qobiqlaridagi boshqa o'zgarishlarga, shuningdek yadroviy reaksiyalarga bog'liq bo'lgan barcha jarayonlarda ichki energiyaning yuqoridagi v) va g) tashkil etuvchilari o'zgarmaydi va ularni ichki energiya tarkibiga qo'shmasa ham bo'ladi. Shuning uchun bundan keyin, masalan, gazning ichki energiyasi deganda faqat molekulalarning issiqlik harakat kinetik energiyasi (ilgarilanma, aylanma va tebranma) bilan molekulalararo o'zaro ta'sir potensial energiyasining yig'indisini tushunish kerak. Ideal gazlarda molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari hisobga olinmaydi. Natijada bunday gazning ichki energiyasi tartibsiz harakat qilayotgan barcha molekulalarning kinetik energiyalarining yig'indisidan iborat deyish mumkin. Kristall tuzilishdagi dielektriklarning ichki energiyasi hisoblanayotganda shu kristall dielektrikni hosil qilayotgan atom, molekula yoki ionlarning issiqlik tebranma harakatiga bog'liq bo'lgan kinetik va potensial energiyalarni inobatga olish kerak. Metallarning ichki energiyasi na faqat ionlarning issiqlik tebranishlari energiyasini, balki o'tkazuvchanlik elektronlarning issiqlik harakat energiyasini ham o'z ichiga oladi.

1. Yopiq termodinamik sistema bilan tashqi jismlar orasidagi energiya almashishi sifat jihatdan farq qiluvchi ikki usul bilan amalga oshishi mumkin: ish bajarish va issiqlik almashish yo'li bilan. Mexanikadan ma'lumki, birinchi usul jismlar o'zaro kuch orqali ta'sirlashganda amalga oshadi.

Ko'rilayotgan termodinamik sistemaga tashqi jismlar tomonidan beriladigan energiya sistema ustida bajarilgan ish deyiladi.

Issiqlik almashishi orqali tashqi jismlardan sistemaga berilgan energiya, sistemaning tashqi muhitdan olgan issiqligi deyiladi.

2. Sistema ustida ishni tashqi kuchlar bajaradi. Qo'zg'almas makroskopik sistema ustida ish bajarilishi uchun, u bilan ta'sirlashayotgan jismlarning siljib qolishi, ya'ni sistema holatining tashqi parametrlari o'zgarishi kerak. Tashqi maydon bo'lgan holda qo'zg'almas sistema bilan tashqi muhit orasida energiya almashishi faqat sistema hajmi va shaklini o'zgarishi jarayonida ish bajarish orqali amalga oshadi. Masalan, tashqi muhit tomonidan gazga ta'cir etuvchi bosim kuchlari gaz ustida ish bajaradi. Bunda sistema ustida tashqi kuchlarning bajargan ishi A' , sistemaning tashqi muhit ustida, ya'ni tashqi kuchlarga qarshi bajargan A ishning teskari ishora bilan olingan qiymatiga teng: $A' = -A$.

3. Issiqlik almaShuvi turli temperaturagacha qizdirilgan jismlar orasida yoki ayni bir jismning qismlari orasida sodir bo'ladi. Masalan, suv bilan isitiladigan batareyalarda *konvektiv issiqlik almashishi* natijasida energiya batareya ichida oqayotgan issiq suvdan batareya devorlariga uzatiladi. O'z navbatida issiqlik, *issiqlik o'tkazuvchanlik* tufayli batareyaning ichki devorlaridan tashqi devorlariga o'tadi. Issiqlik almashishning uchinchi turi ham bor. Uni amalga oshishi uchun jismlarning bir-biriga tegishi yoki ular orasida biror bir muhitning bo'lishi shart emas. Bunday issiqlik almashish turiga *nurlanish bilan issiqlik almashish* deyiladi. Bu jismlardan elektromagnit nurlanishlarning chiqishi va ularda yutilishi natijasida sodir bo'ladi. Shunday yo'l bilan Yer Quyoshdan juda katta energiya oladi.

4. Issiqlik va ish tushunchalari sistema holatining bir qiymatli funksiyasi bo'lgan ichki energiyadan farqli ravishda faqat sistema holatining o'zgarish jarayoni bilan bog'liq bo'lgan holdagina ma'noga ega. Ular har bir jarayonning energetik xarakteristikalari hisoblanadi. Sistemani biror 1 holatdan boshqa bir 2 oxirgi holatga o'tkazish uchun shu 1→2 jarayonning turiga, ya'ni sistema qanday oraliq holatlardan o'tishiga qarab, unga har xil issiqlik berilishi va sistema ustida turlicha ish bajarilishi zarur, buni biz keyinroq ko'ramiz. Bundan farqli ravishda sistema ichki energiyasining o'zgarishi sistemada qanday jarayon sodir bo'lishga bog'liq emas, u to'lig'icha sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlari bilan aniqlanadi. Termodinamik sistema ma'lum bir holatda aniq bir ichki energiya zaxirasiga ega deyish mumkin, lekin ishning ham, issiqlikning ham zaxirasi haqida gapirib bo'lmaydi.

5. Makroskopik sistemalar orasida energiya almashish usuli bo'lgan ish bajarish bilan issiqlik almashish sifat jihatdan teng kuchli emas.

Sistema ustida ish bajarilishi sistemaning har qanday ko'rinishdagi energiyasini o'zgartirishi mumkin. Masalan, haratlanuvchi porshenli idishdagi gazni tez qisishda tashqi kuchlarning gaz ustida bajargan ishi to'lig'icha gaz ichki energiyasini ortishiga sarflanadi. Ikki jismning noelastik urilishi vaqtida bajarilgan ishning bir qismi jismlarning kinetik energiyalarini o'zgarishiga va ishning qolgan qismi ularning ichki energiyalarini o'zgarishiga ketadi. Agar energiya sistemaga issiqlik ko'rinishida uzatilsa, u sistema zarralarining (atomlar, molekullar, ionlar) issiqlik harakat energiyalarini ortishiga sarflanadi. Natijada sistemaning ichki energiyasi ortadi. Issiqlik almashish jarayonini o'rganish shunday xulosaga olib keladi. Misol uchun turli temperaturaga ega bo'lgan ikki jism bir-biriga tegib turgan bo'lsin. Yuqoriroq temperaturali jism zarralari past temperaturali jism zarralariga qaraganda o'rta hisobda kattaroq issiqlik harakat kinetik energiyasiga ega bo'ladi. Ikki jismlarning zarrachalarini to'qnashishi natijasida ko'proq isigan jism zarralari o'z kinetik energiyalarini bir qismini kamroq isigan jism zarralariga beradi. Oqibatda yuqori temperaturali jismning ichki energiyasi kamayadi, ikkinchisini ichki energiyasi esa ortadi. Shunga mos holda birinchi jismning temperaturasi pasayadi, ikkinchi jismniki ortadi. Ikkala jismning temperaturalari tenglashganda ularni tashkil qilgan zarralarning issiqlik harakat kinetik energiyalari ham tenglashadi. Natijada jismlar orasidagi issiqlik almashishi to'xtaydi. Chunki, temperaturalari bir xil bo'lgan jismlarning zarralari to'qnashganda energiya bir jismdan ikkinchi jismga, ikkinchi jismdan birinchi jismga bir xil miqdorda uzatiladi.

6. Ko'pincha energiya uzatishning har ikki usuli (ish va issiqlik ko'rinishda) bir vaqtda amalga oshadi. Masalan, harakatlanuvchi porshenli idishdagi gazni qizdirganimizda gazga issiqlik berilishi bilan birga uning hajmini ortishi kuzatiladi. Bunda tashqi bosimga qarshi ish bajariladi. Energiya uzatishning ikki usulidan biri amalga oshmasligi ham mumkin. Masalan, adiabatik termodinamik sistema tashqi jismlar ustida ish bajarilishi mumkin. Tashqi jismlar ham adiabatik sistema ustida ish bajarilishi mumkin. Bunga misol qilib hamma tomoni issiqlik o'tkazmaydigan vosita bilan himoyalangan harakatlanuvchi porshenli gaz to'ldirilgan silindr shaklidagi idishni olish mumkin. Tashqi muhit bilan issiqlik almashishning yo'qligi, gaz kengayib, ish bajarilishi mumkinligini inkor etmaydi. Shu bilan birga tashqi bosim kuchlari porshen ostidagi gazni siqib ham ish bajarilishi mumkin.

Termodinamikaning birinchi qonuni:

Energiya yoqdan bor bo'lmaydi bordan yo'q bo'lmaydi, faqat bir shakldan ikkinchi shaklga o'tishi mumkin.

Har qanday sistemada energiyaning uzatilishi chegaralarida ishning bajarilishi yoki isitilish, yoki energiyaning boshqa turdagi energiyaga aylanishi bilan yakunlanadi. Tashqi ish yoki isishga almashinishi energiya balansini hosil qiladi.

1. Termodinamik sistemaga energiya uzatishning ikki xil usulini mavjudligi, sistemani qandaydir boshlang'ich 1 holatdan boshqa 2 holatga muvozanatli o'tish jarayonini energetik nuqtai nazardan tahlil qilishga imkon beradi. Bunday jarayonda sistema ichki energiyasining o'zgarishi $\Delta U_{1-2} = U_2 - U_1$, sistema ustida tashqi kuchlarning bajargan ishi A'_{1-2} bilan, sistemaga berilgan issiqlik miqdori Q_{1-2} ning yig'indisiga teng*

$$\Delta U_{1-2} = A'_{1-2} + Q_{1-2}. \quad (9.2)$$

A'_{1-2} ish sistemani shu o'tish jarayonida tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ishining teskari ishora bilan olingan qiymatga teng: $A'_{1-2} = -A_{1-2}$. Shuning uchun (9.2) ifodani boshqacha yozish mumkin

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A'_{1-2}. \quad (9.3)$$

(9.3) tenglama termodinamikaning birinchi qonunini (birinchi boshlanishini) matematik yozilishidir:

sistemaga berilgan issiqlik miqdori, sistemaning ichki energiyasi o'zgarishiga va sistemani tashqi kuchlariga qarshi ish bajarishiga sarflanadi.

2. Odatda termodinamikaning birinchi qonuni sistemaga ozgina δQ issiqlik miqdori berilishi, sistemaning elementar (kichik) ish bajarishiga va sistema ichki energiyasining δU kichik o'zgarishiga olib keladigan hol uchun yoziladi:

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (9.4)$$

Issiqlik va ishning kichik miqdorlarini va ichki energiyaning o'zgarishlarini (δQ , δA va dU) yozilishidagi farq shunchaki yuzaki bo'lmasdan, balki ularda chuqur fizik tafovut borligini ifodalaydi. Gap shundaki, 9.1-§ da ko'rsatib o'tilgandek, ichki energiya sistema holatining bir qiymatli funksiyasidir. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, sistemada ixtiyoriy jarayonlar sodir bo'lishi natijasida, u yana dastlabki holatga qaytib kelsa, ichki energiyaning to'liq o'zgarishi nolga teng bo'ladi. Bunday xulosaning matematik yozilishi

$$\oint dU = 0$$

ayniyatdan iborat bo'lib, bu $\oint dU$ ifodani to'liq differensial ekanini ko'rsatuvchi zaruriy va etarli shartdir. Keyinchalik ko'ramizki, ish ham, issiqlik ham holat funksiyalari bo'la olmaydi, shuning uchun δQ va δA lar to'liq differensiallar ham emas.

3. Termodinamikaning birinchi boshlanishi (9.4) ga kiruvchi hamma fizik kattaliklar musbat ham, manfiy ham bo'lishi mumkin. δQ yoki δA yoxud $\delta Q + \delta A$ yig'indi ham nolga teng bo'lgan holni bo'lishi mumkin. Masalan, adiabatik termodinamik sistemalarda $\delta Q = 0$ bo'ladi.

Agar sistemaga issiqlik berilayotgan bo'lsa, $\delta Q > 0$; agar sistemadan issiqlik chiqayotgan bo'lsa, $\delta Q < 0$ bo'ladi. Sistemani 1 holatdan 2 holatga o'tish jarayonining bir sohasida issiqlik unga berilayotgan, boshqa sohasida undan issiqlik chiqayotgan bo'lishi mumkin. 1-2 jarayonda sistemaga berilayotgan issiqlikning umumiy miqdori 1-2 jarayonning hamma sohalarida sistemaga berilayotgan issiqliklarning yig'indisiga teng:

$$Q_{1-2} = \int_1^2 \delta Q$$

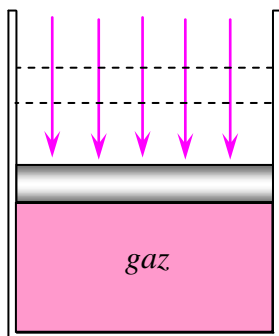
4. Agar sistema tashqi jismlar ustida ish bajarilayotgan bo'lsa, $\delta A > 0$ deb hisoblanadi. Agar sistema ustida tashqi kuchlar ish bajarayotgan bo'lsa, $\delta A < 0$ bo'ladi. 1-2 jarayonning oxirida sistema bajarilgan A_{1-2} ish, shu jarayonning hamma sohalarida bajarilgan ishlarning yig'indisiga teng:

$$A_{1-2} = \int_1^2 \delta A$$

Misol tariqasida yuzasi S bo'lgan harakatlanuvchi engil porshenli idishdagi gazning kengayish yoki siqilish vaqtida bajarilgan ishni ko'rib o'tamiz (9.1-rasm).

Tashqi kuchlarning porshenp va gazga berayotgan bosimi R_{tash} bo'lsin. U holda porshenga ta'sir etayotgan kuch $F_{tash} = r_{tash} \cdot S$ bo'ladi. Iorshenni yuqoriga gx kichik masofaga siljishida gazni tashqi bosimga qarshi bajaragan elementar ishi

$$\delta A = F_{tash} \cdot dx = p_{tash} dV \quad (9.5)$$



9.1-rasm

bo'ladi. Bu yerda $dV = S \cdot dx$ gaz hajmining o'zgarishi.

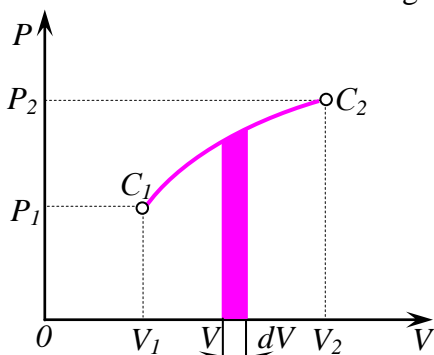
Agar gaz hajmining o'zgarishi kvazistatistik holda sodir bo'lsa, vaqtning har bir onida gaz tashqi muhit bilan muvozanat holatda bo'ladi va uni bosimi r tashqi bosim r_{tash} ga teng bo'ladi. Gazni muvozanatli (kvazistatistik) jarayonda hajmining o'zgarishida bajarilgan elementar ish:

$$\delta A = p dV \quad (9.5')$$

Gazni r bosimi doimo musbat. Shuning uchun gaz kengayganda ($dV > 0$) musbat ish bajaradi ($\delta A > 0$). Agar gaz siqilayotgan bo'lsa, $dV < 0$ bo'lib, $\delta A < 0$ bo'ladi. Bu holda tashqi bosim kuchlari gaz ustida musbat ish bajaradi.

(9.5) formula na faqat gaz va suyuqlik uchun to'g'ri bo'lmasdan, balki u, tashqi bosim kuchlari qattiq jism sirtiga tekis ta'sir etgandagi uni kengayishi yoki siqlishi uchun ham to'g'ridir.

1. Termodinamik jarayonlarning grafik tasvirlaridan foydalanilsa, ularni bir-biriga taqqoslash va o'rganish qulay bo'ladi. Bu ayniqsa sodda sistemalarda qo'l keladi, chunki, bunday sistemalarda termik holat tenglamasidan ixtiyoriy ikkita parametri, masalan V va r ma'lum bo'lsa, uchinchi parametr T ni aniqlash mumkin. Sodda sistemada o'tayotgan jarayonni grafik tasvirlash uchun tekislikdagi koordinata sistemasidan foydalaniladi, bunda koordinataning ikkita o'qiga holatning o'zaro bog'liq bo'lmagan ikkita parametri qo'yiladi. Abtsissa o'qiga hajm, ordinata o'qiga bosim qo'yiladigan $p-V$ diagrammalardan tashqari $p-T$ va $V-T$ diagrammalar ham qo'llaniladi. 9.2-rasmda $p-V$ diagramma termodinamik jarayon $C_1 C_2$ egri chiziq bilan tasvirlangan bo'lib, undagi $C_1(p_1, V_1)$ (r_1, V_1) va $C_2(p_2, V_2)$ nuqtalar, termodinamik sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlarini ko'rsatadi.



9.2-rasm

2. Grafik ravishda faqat muvozanatli jarayonlarni tasvirlash mumkin. Muvozanatli bo'lmagan jarayonlar uchun butun bir jismning (yoki sistemaning) holat parametrlari haqida gapirish mumkin emas. Jismning turli qismlarining parametrlari turlicha bo'ladi. 9.2-rasmdagidek butun sistemaning (yoki jismning) holatini ifodalaydigan C_1 va C_2 nuqtalar bo'lmaydi. Shuning uchun muvozanatli bo'lmagan jarayonlarni grafik holda tasvirlab bo'lmaydi. Shu aytilganlarni harakatlanuvchi porshenli silindrdagi gazni qisish misolida tushuntiramiz. (9.1-rasm). Porshen tinch turganda gaz tashqi muhit bilan muvozanat holatda bo'ladi. Silindr hajmining hamma qismlarida bosim, temperatura

va gazning zichligi bir xil. Tashqi kuch ta'sirida porshenp siljiy boshlaganda gaz bosimining o'zgarishi unda tovush tezligida tarqaladi. Iorshenp ostidagi gaz siqilganda bosimi yuqori bo'lgan soha hosil bo'ladi. Gaz hajmining hamma qismida bosimning tengligi buziladi, porshenp qancha tez harakatlansa, bu buzilish shuncha kuchli bo'ladi. Gazning bunday holati muvozanatli bo'lmagan holat bo'lib, u porshenp to'xtagandan keyin uzoq vaqt qolishi mumkin emas.

Bu misol shuni ko'rsatadiki, porshenp bilan gazni siqish muvozanatli bo'lmagan jarayon.

Ba'zi hollarda real jarayonlarning muvozanatli emasligini hisobga olmaslik mumkin. Agar silindrning o'lchami katta bo'lmasa va porshenning harakat tezligi, tovushning gazdagi tezligidan ancha kichik bo'lsa, ko'rib o'tilgan misolda shunday qilish mumkin.

3. Elementar $\delta A = p dV$ ish $p-V$ diagrammada 9.2-rasmdagi bo'yalgan egri trapetsiyaning yuzasiga teng bo'ladi.

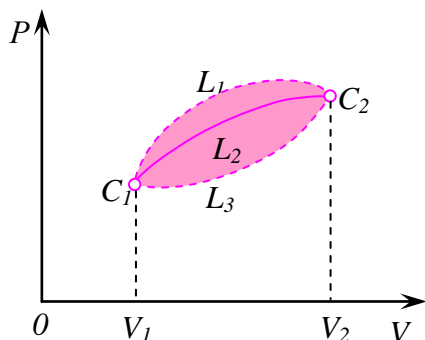
Sistemani $C_1 C_2$ jarayonda bajaragan ishi

$$A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

formula bilan ifodalaniib, koordinatalari p_1 va p_2 , abtsissalari V_1 va V_2 bo'lgan C_1 C_2 egri chiziq bilan chegaralangan yuza bilan o'lchanadi. 9.2-rasmdan ko'rinidaki, A_{1-2} ish sistema qanday qilib C_1 holatdan C_2 holatga o'tishiga, ya'ni, C_1 C_2 jarayonining turiga bog'liq.

9.3-rasmga ko'rsatilgan sistemani $C_1L_1C_2$, $C_1L_2C_2$ va $C_1L_3C_2$ jarayonlarda bajarilgan ishlari mos holda A_{L_1} , A_{L_2} va A_{L_3} bo'lib, turicha yuzalar bilan o'lchanadi

$$A_{L_1} > A_{L_2} > A_{L_3}$$



9.3-rasm

Sistemada yopiq $C_1L_1C_2L_2$ egri chiziq bo'yicha jarayon sodir bo'lgandan keyin boshlang'ich C_1 holatga qaytgandagi. To'liq $A_{L_1-L_3}$ ish nolga teng bo'lmaydi. Chunki, sistemani $C_1L_1C_2$ kengayish jarayonida bajarilgan musbat ish, $C_2L_3C_1$ siqilish jarayonida bajarilgan manfiy ishdan katta. Oqibat natijada bajarilgan musbat ish 9.3-rasmda bo'yalgan yuza bilan o'lchanadi.

Shunday qilib, A_{1-2} ish nafaqat termodinamik sistema holat funksiyasi, balki sodir bo'layotgan jarayonning turining funksiyasi hamdir. Demak, ish ichki energiyaga o'xshab sistemaning bir qiymatli funksiyasi bo'la olmaydi, (9.3) formuladan shu narsa kelib chiqadiki, Q_{1-2} issiqlik ham A_{1-2} ishga o'xshab sistemada sodir bo'layotgan jarayonning funksiyasidir. Turli jarayonlarda sistema holatining 1-2 o'zgarishida unga turlicha issiqlik beriladi va sistema tomonidan ham har xil ish bajariladi. Shuning uchun boshida ko'rsatilgandek, elementar, ya'ni kichik δA va δQ miqdorlar to'liq differensiallar emas.

26-MA'RUZA. KARNO TEOREMALARI. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI. TERMODINAMIKANING 2-QONUNINING TURLI TA'RIFLARI. ISSIQLIK MASHINALARI VA ULARNING F.I.K. I. KARNO SIKLI.

Reja:

1. Aylanma jarayonlar.
2. Termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni.
3. Karno sikli va uning ideal gaz uchun foydali ish koeffitsiyenti.

1. Yopiq termodinamik sistema bilan tashqi jismlar orasidagi energiya almashishi sifat jihatdan farq qiluvchi ikki usul bilan amalga oshishi mumkin: ish bajarish va issiqlik almashish yo'li bilan. Mexanikadan ma'lumki, birinchi usul jismlar o'zaro kuch orqali ta'sirlashganda amalga oshadi.

Ko'rilayotgan termodinamik sistemaga tashqi jismlar tomonidan beriladigan energiya sistema ustida bajarilgan ish deyiladi.

Issiqlik almashishi orqali tashqi jismlardan sistemaga berilgan energiya, sistemaning tashqi muhitdan olgan issiqligi deyiladi.

2. Sistema ustida ishni tashqi kuchlar bajaradi. Qo'zg'almas makroskopik sistema ustida ish bajarilishi uchun, u bilan ta'sirlashayotgan jismlarning siljib qolishi, ya'ni sistema holatining tashqi parametrlari o'zgarishi kerak. Tashqi maydon bo'lmagan holda qo'zg'almas sistema bilan tashqi muhit orasida energiya almashishi faqat sistema hajmi va shaklini o'zgarishi jarayonida ish bajarish orqali amalga oshadi. Masalan, tashqi muhit tomonidan gazga ta'cir etuvchi bosim kuchlari gaz ustida ish bajaradi. Bunda sistema ustida tashqi kuchlarning bajarilgan ishi A' , sistemaning tashqi muhit ustida, ya'ni tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan A ishning teskari ishora bilan olingan qiymatiga teng: $A' = -A$.

3. Issiqlik almashuvi turli temperaturagacha qizdirilgan jismlar orasida yoki ayni bir jismning qismlari orasida sodir bo'ladi. Masalan, suv bilan isitiladigan batareyalarda *konvektiv issiqlik almashishi* natijasida energiya batareya ichida oqayotgan issiq suvdan batareya devorlariga uzatiladi. O'z navbatida issiqlik, *issiqlik o'tkazuvchanlik* tufayli batareyaning ichki devorlaridan tashqi devorlariga o'tadi. Issiqlik almashishning uchinchi turi ham bor. Uni amalga

o'shishi uchun jismlarning bir-biriga tegishi yoki ular orasida biror bir muhitning bo'lishi shart emas. Bunday issiqlik almashish turiga *nurlanish bilan issiqlik almashish* deyiladi. Bu jismlardan elektromagnit nurlanishlarning chiqishi va ularda yutilishi natijasida sodir bo'ladi. Shunday yo'l bilan Yer Quyoshdan juda katta energiya oladi.

2. Odatda termodinamikaning birinchi qonuni sistemaga ozgina δQ issiqlik miqdori berilishi, sistemaning elementar (kichik) ish bajarishiga va sistema ichki energiyasining δU kichik o'zgarishiga olib keladigan hol uchun yoziladi:

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (9.4)$$

Issiqlik va ishning kichik miqdorlarini va ichki energiyaning o'zgarishlarini (δQ , δA va dU) yozilishidagi farq shunchaki yuzaki bo'lmasdan, balki ularda chuqur fizik tafovut borligini ifodalaydi. Gap shundaki, 9.1-§ da ko'rsatib o'tilgandek, ichki energiya sistema holatining bir qiymatli funksiyasidir. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, sistemada ixtiyoriy jarayonlar sodir bo'lishi natijasida, u yana dastlabki holatga qaytib kelsa, ichki energiyaning to'liq o'zgarishi nolga teng bo'ladi. Bunday xulosaning matematik yozilishi

$$\oint dU = 0$$

ayniyatdan iborat bo'lib, bu $\oint dU$ ifodani to'liq differensial ekanini ko'rsatuvchi zaruriy va etarli shartdir. Keyinchalik ko'ramizki, ish ham, issiqlik ham holat funksiyalari bo'la olmaydi, shuning uchun δQ va δA lar to'liq differensiallar ham emas.

3. Termodinamikaning birinchi boshlanishi (9.4) ga kiruvchi hamma fizik kattaliklar musbat ham, manfiy ham bo'lishi mumkin. δQ yoki δA yoxud $\delta Q + \delta A$ yig'indi ham nolga teng bo'lgan holni bo'lishi mumkin. Masalan, adiabatik termodinamik sistemalarda $\delta Q = 0$ bo'ladi.

Agar sistemaga issiqlik berilayotgan bo'lsa, $\delta Q > 0$; agar sistemadan issiqlik chiqayotgan bo'lsa, $\delta Q < 0$ bo'ladi. Sistemani 1 holatdan 2 holatga o'tish jarayonining bir sohasida issiqlik unga berilayotgan, boshqa sohasida undan issiqlik chiqayotgan bo'lishi mumkin. 1-2 jarayonda sistemaga berilayotgan issiqlikning umumiy miqdori 1-2 jarayonning hamma sohalarida sistemaga berilayotgan issiqliklarning yig'indisiga teng:

$$Q_{1-2} = \int_1^2 \delta Q$$

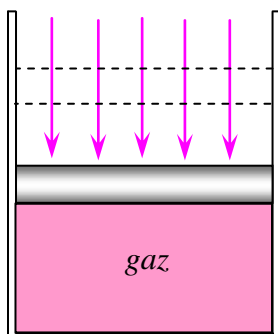
4. Agar sistema tashqi jismlar ustida ish bajarilayotgan bo'lsa, $\delta A > 0$ deb hisoblanadi. Agar sistema ustida tashqi kuchlar ish bajarayotgan bo'lsa, $\delta A < 0$ bo'ladi. 1-2 jarayonning oxirida sistema bajargan A_{1-2} ish, shu jarayonning hamma sohalarida bajarilgan ishlarning yig'indisiga teng:

$$A_{1-2} = \int_1^2 \delta A$$

Misol tariqasida yuzasi S bo'lgan harakatlanuvchi engil porshenli idishdagi gazning kengayish yoki siqilish vaqtida bajarilgan ishni ko'rib o'tamiz (9.1-rasm).

Tashqi kuchlarning porshenp va gazga berayotgan bosimi R_{tash} bo'lsin. U holda porshenga ta'sir etayotgan kuch $F_{tash} = r_{tash} \cdot S$ bo'ladi. Iorshenni yuqoriga gx kichik masofaga siljishida gazni tashqi bosimga qarshi bajargan elementar ishi

$$P_{tash} \quad \delta A = F_{tash} \cdot dx = p_{tash} dV \quad (9.5)$$



9.1-rasm

bo'ladi. Bu yerda $dV = S \cdot dx$ gaz hajmining o'zgarishi.

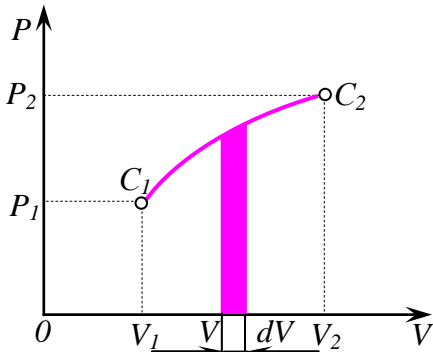
Agar gaz hajmining o'zgarishi kvazistatistik holda sodir bo'lsa, vaqtning har bir onida gaz tashqi muhit bilan muvozanat holatda bo'ladi va uni bosimi r tashqi bosim r_{tash} ga teng bo'ladi. Gazni muvozanatli (kvazistatistik) jarayonda hajmining o'zgarishida bajarilgan elementar ish:

$$\delta A = p dV \quad (9.5')$$

Gazni r bosimi doimo musbat. Shuning uchun gaz kengayganda ($dV > 0$) musbat ish bajaradi ($\delta A > 0$). Agar gaz siqilayotgan bo'lsa, $dV < 0$ bo'lib, $\delta A < 0$ bo'ladi. Bu holda tashqi bosim kuchlari gaz ustida musbat ish bajaradi. (9.5)

formula na faqat gaz va suyuqlik uchun to'g'ri bo'lmasdan, balki u, tashqi bosim kuchlari qattiq jism sirtiga tekis ta'sir etgandagi uni kengayishi yoki siqlishi uchun ham to'g'ridir.

1. Termodinamik jarayonlarning grafik tasvirlaridan foydalanilsa, ularni bir-biriga taqqoslash va o'rganish qulay bo'ladi. Bu ayniqsa sodda sistemalarda qo'l keladi, chunki, bunday sistemalarda termik holat tenglamasidan ixtiyoriy ikkita parametri, masalan V va r ma'lum bo'lsa, uchinchi parametr T ni aniqlash mumkin. Sodda sistemada o'tayotgan jarayonni grafik tasvirlash uchun tekislikdagi koordinata sistemasidan foydalaniladi, bunda koordinataning ikkita o'qiga holatning o'zaro bog'liq bo'lmagan ikkita parametri qo'yiladi. Absissa o'qiga hajm, ordinata o'qiga bosim qo'yiladigan $p-V$ diagrammalardan tashqari $p-T$ va $V-T$ diagrammalar ham qo'llaniladi. 9.2-rasmda $p-V$ diagramma termodinamik jarayon $C_1 C_2$ egri chiziq bilan tasvirlangan bo'lib, undagi $C_1(p_1, V_1)$ (r_1, V_1) va $C_2(p_2, V_2)$ nuqtalar, termodinamik sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlarini ko'rsatadi.



9.2-rasm

2. Grafik ravishda faqat muvozanatli jarayonlarni tasvirlash mumkin. Muvozanatli bo'lmagan jarayonlar uchun butun bir jismning (yoki sistemaning) holat parametrlari haqida gapirish mumkin emas. Jismning turli qismlarining parametrlari turlicha bo'ladi. 9.2-rasmdagidek butun sistemaning (yoki jismning) holatini ifodalaydigan C_1 va C_2 nuqtalar bo'lmaydi. Shuning uchun muvozanatli bo'lmagan jarayonlarni grafik holda tasvirlab bo'lmaydi. Shu aytilganlarni harakatlanuvchi porshenli silindrdagi gazni qisish misolida tushuntiramiz. (9.1-rasm). Porshen tinch turganda gaz tashqi muhit bilan muvozanat holatda bo'ladi. Silindr hajmining hamma qismlarida bosim, temperatura

va gazning zichligi bir xil. Tashqi kuch ta'sirida porshenp siljiy boshlaganda gaz bosimining o'zgarishi unda tovush tezligida tarqaladi. Porshenp ostidagi gaz siqilganda bosimi yuqori bo'lgan soha hosil bo'ladi. Gaz hajmining hamma qismida bosimning tengligi buziladi, porshenp qancha tez harakatlansa, bu buzilish shuncha kuchli bo'ladi. Gazning bunday holati muvozanatli bo'lmagan holat bo'lib, u porshenp to'xtagandan keyin uzoq vaqt qolishi mumkin emas.

Bu misol shuni ko'rsatadiki, porshenp bilan gazni siqish muvozanatli bo'lmagan jarayon.

Ba'zi hollarda real jarayonlarning muvozanatli emasligini hisobga olmaslik mumkin. Agar silindrning o'lchami katta bo'lmasa va porshenning harakat tezligi, tovushning gazdagi tezligidan ancha kichik bo'lsa, ko'rib o'tilgan misolda shunday qilish mumkin.

3. Elementar $\delta A = p dV$ ish $p-V$ diagrammada 9.2-rasmdagi bo'yalgan egri trapetsiyaning yuzasiga teng bo'ladi.

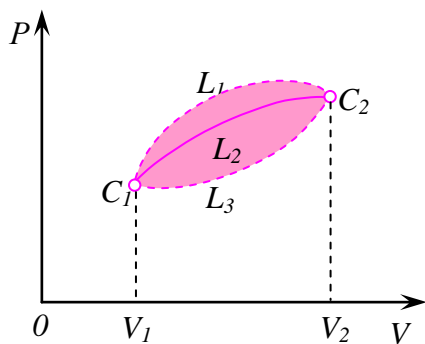
Sistemani $C_1 C_2$ jarayonda bajargan ishi

$$A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

formula bilan ifodalanib, koordinatalari p_1 va p_2 , absissalari V_1 va V_2 bo'lgan $C_1 C_2$ egri chiziq bilan chegaralangan yuzani bilan o'lchanadi. 9.2-rasmdan ko'rinidaki, A_{1-2} ish sistema qanday qilib C_1 holatdan C_2 holatga o'tishiga, ya'ni, $C_1 C_2$ jarayonining turiga bog'liq.

9.3-rasmga ko'rsatilgan sistemani $C_1 L_1 C_2$, $C_1 L_2 C_2$ va $C_1 L_3 C_2$ jarayonlarda bajargan ishlari mos holda A_{L1} , A_{L2} va A_{L3} bo'lib, turicha yuzalar bilan o'lchanadi

$$A_{L_1} > A_{L_2} > A_{L_3}$$



9.3-rasm

Sistemada yopiq $C_1L_1C_2L_2$ egri chiziq bo'yicha jarayon sodir bo'lgandan keyin boshlang'ich C_1 holatga qaytgandagi. To'liq $A_{L_1-L_3}$ ish nolga teng bo'lmaydi. Chunki, sistemani $C_1L_1C_2$ kengayish jarayonida bajarilgan musbat ish, $C_2L_3C_1$ siqilish jarayonida bajarilgan manfiy ishdan katta. Oqibat natijada bajarilgan musbat ish 9.3-rasmda bo'yalgan yuza bilan o'lchanadi.

Shunday qilib, A_{1-2} ish nafaqat termodinamik sistema holat funksiyasi, balki sodir bo'layotgan jarayonning turining funksiyasi hamdir. Demak, ish ichki energiyaga o'xshab sistemaning bir qiymatli funksiyasi bo'la olmaydi, (9.3) formuladan shu narsa kelib chiqadiki, Q_{1-2} issiqlik ham A_{1-2} ishga o'xshab sistemada sodir bo'layotgan jarayonning funksiyasidir. Turli jarayonlarda sistema holatining 1-2 o'zgarishida unga turlicha issiqlik beriladi va sistema tomonidan ham har xil ish bajariladi. Shuning uchun boshida ko'rsatilgandek, elementar, ya'ni kichik δA va δQ miqdorlar to'liq differensiallar emas.

27-MA'RUZA. ENTROPIYA VA EHTIMOLLIK. KLAUZIUS TENGSIZLIGI. ENTROPIYA VA TARTIBSIZLIK. TEMPERATURANING MUTLOQ TERMODINAMIK SHKALASI. TERMODINAMIKANING 3-QONUNI.

Reja:

1. Entropiya-sistema holat funksiyasi kabi
2. Qaytmas jarayonlar uchun termodinamikaning ikkinchi qonuni
3. Entropiyaning o'sish prinsipi
4. Entropiya va ehtimollik
5. Termodinamikaning uchinchi qonuni.

Entropiya-sistema holat funksiyasi kabi

1-rasmda elementar sikllarga bo'lingan adiabatlar oilasi tasvirlangan; agar ularni I dan z gacha (z -Karnonning elementar sikllar soni) raqamlasak, u holda n raqamli sikl uchun 62§-(7) ga binoan:

$$\frac{\Delta Q_1^{(n)}}{T_1} + \frac{\Delta Q_2^{(m)}}{T_2} = 0$$

bu yerda $\Delta Q_1^{(n)}$ va $\Delta Q_2^{(m)}$ - ajratilgan elementar sikllar issiqlik samaralari.

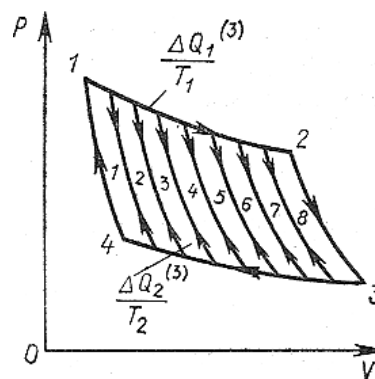
Shunday yig'indilarni barcha qismlar uchun yozib, ularni qo'shib:

$$\oint \frac{\Delta Q}{T} = 0 \quad (1)$$

(1) ni yozishda ΔQ dan u yoki bu elementar jarayonga tegishli ekanligini ko'rsatuvchi indeks olib tashlangan; uning o'rniga yig'indi oldiga \oint belgisi qo'yilgan bo'lib, u hosil qilingan keltirilgan issiqliklarning umumiy yig'indi yopiq kontur bo'yicha aylanish natijasida hosil

bo'lganligini bildiradi (umumiy siklning har bir sohasida $\frac{\Delta Q}{T}$ lar topilib, so'ngra ular qo'shiladi). Chegaraga o'tishda yozilgan yig'indi yopiq kontur bo'yicha integralga o'tadi:

$$\oint \frac{\Delta Q}{T} = 0 \quad (2)$$



1-rasm

bu yerda \oint - integralning yopiq kontur bo'yicha belgilanishi. Avvalgi paragrafda topilgan $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = 0$ tenglik faqat Karno sikli uchun o'rinli bo'lsa, (2) esa ixtiyoriy qaytuvchi sikl uchun o'rinlidir. Ixtiyoriy muvozanatli siklni izotermalar va adiabatlar oilasiga bo'lishimiz mumkin. Shuning uchun (2) ko'rinishdagi integral qaytuvchi sikllarning umumiydagi tavsifi (ularning shakli va ishchi moddaning xossalriga bog'liq bo'lmagan holda) hisoblanadi.

Matematik analizdan ma'lumki, (2) ko'rinishdagi chiziqiy integral mavjud bo'lsa, integral osti munosabati ayrim funksiyani to'liq differensial bo'lishi kerak. Shunday qilib, (2) integralni hosil qilish bilan biz qaytuvchi jarayon uchun elementar keltirilgan issiqlik $\frac{\Delta Q}{T}$ Klauzius kiritgan va entropiya deb atagan sistemaning ayrim funksiyasi S ning to'liq differensial bo'lishini isbotladik:

$$\frac{dQ}{T} = dS \quad (3)$$

(2) ga analogik tarzda ichki energiya uchun $\oint dU = 0$ deb yozishimiz mumkin. Demak, ichki energiya sistema holat funksiyasidir va uning o'zgarishlari yig'indisi yopiq kontur bo'yicha (siklik jarayonda) nolga teng (bu holda, ichki energiyaning boshlang'ich va oxirgi qiymatlari mos tushadi). Agar (2) integralni (3) ni hisobga olgan holda yozsak, entropiyaning ma'nosi yanada tushunarliroq bo'ladi:

$$\oint dS = 0 \quad (4)$$

Ichki energiya kabi entropiya ham sistema parametrlari P , T va V ning funksiyasidir va P , T va V lar o'zaro bog'liqligidan: $f(P, T, V) = 0$, u holda entropiya uchta bog'liqlik bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned} S &= S(T, V), \\ S &= S(T, P), \\ S &= S(P, V) \end{aligned} \quad (5)$$

Entropiya issiqlik sig'imi o'lchoviga ega. Entropiyaning aniqroq ifodasini quyidagi ta'rif beradi: entropiya sistema holatining shunday funksiyasiki, qaytuvchi jarayonda differensial elementar issiqlik effekti bilan quyidagi munosabat bilan bog'langan:

$$dQ = TdS \quad (6)$$

(eslatib qo'yish kerakki, dQ xuddi dA singari qandaydir funksiyani differensial emas). Differensial tenglama (6) qaytuvchi jarayonlar uchun termodinamikaning ikkinchi asosining yozilishlaridan biridir.

(6) ni hisobga olgan holda, termodinamikaning birinchi qonuni $dQ = dU + PdV$ quyidagi ko'rinishni oladi:

$$TdS = dU + PdV \quad (7)$$

Termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlarining birlashishi (7) sistema entropiyasini holatning ma'lum termik va kalorik tenglamalari bo'yicha topishga imkon beradi:

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{P}{T} dV \quad (8)$$

Ideal gaz entropiyasini topamiz. Ideal gazlar uchun $dU = C_v dT$ va $P/T = R/V$. Shu munosabatlarni qo'llab, bir mol ideal gaz uchun (8) ni qayta yozamiz:

$$dS = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} \quad (9)$$

C_v integrallash doimiysigacha aniqlikda doimiy bo'lganda (9) dan bir mol ideal gaz uchun entropiya:

$$S = C_v \ln T + R \ln V \quad (10)$$

ligi kelib chiqadi. holat tenglamasini qo'llab, (9) ning o'rniga:

$dS = C_p \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P}$ deb yozish mumkin. Bundan ideal gazning moli uchun entropiyaning boshqa munosabati kelib chiqadi:

$$S = C_p \ln T - R \ln P \quad (11)$$

(3) dan ko'rinib turibdiki, 1 va 2 holatlardagi entropiyalar farqi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (12)$$

Bu yerda integralni ikkala holatni bog'lovchi ixtiyoriy qaytuvchi yo'l bo'yicha olish mumkin. Entropiya o'zgarishini (12) bo'yicha aniqlash uchun sistemaning holat tenglamasi haqida hech qanday ma'lumot kerak bo'lmaydi. Agar jarayon izobarik bo'lsa, u holda $dQ = C_p dT$

va $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{C_p dT}{T}$. Agar bunda $C_p = \text{const}$ bo'lsa, u holda

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (13)$$

bo'ladi. Analogik tarzda izoxorik jarayon uchun entropiya o'zgarishi uchun munosabat hosil bo'ladi:

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (14)$$

Agar jarayon izotermik tarzda borayotgan bo'lsa, (12) ga muvofiq, quyidagicha bo'ladi:

$$S_2 - S_1 = \frac{\Delta Q}{T} \quad (15)$$

Shunday yo'l bilan Karno siklini amalga oshirishda isitgich va sovutgichning entropiya o'zgarishini aniqlash mumkin.

Ma'lumki, suyuqliklarning qaynashi va qotishi doimiy temperaturada boradi, bunda suyuqlik-bug' yoki suyuqlik-qattiq holatga agregat o'tishlar o'tish issiqligi λ (bug' hosil bo'lish issiqligi va kristallanish issiqligi) ning yutilishi (ajralishi) bilan boradi. Ko'rsatilgan fazoviy o'tishlar entropiyaning o'zgarishi bilan boradi:

$$\Delta S = \frac{\lambda}{T} \quad (16)$$

Muvozanatli jarayonlar orasida $dQ = 0$ bo'lgan adiabatik o'tishlar mavjuddir va (3) ga muvofiq,

$$dS = 0, S = \text{const} \quad (17)$$

Shunday qilib, adiabatik muvozanatli jarayonlar sistemaning doimiy entropiyasida boradi.

Entropiya tushunchasini qo'llovchi termodinamika ikkinchi asosining ta'rifi juda qimmatli bo'lib, undan fan va texnikaning turli sohalarida foydalaniladi.

2. QAYTMAS JARAYONLAR UCHUN TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

Ikkinchi asosga muvofiq qaytuvchi jarayon bilan ikkita jism orasida ish bajarmay turib, issiqlik almashib bo'lmaydi. Shuning bilan birga, kundalik tajribalardan ma'lumki, ish bajarmay, issiqlik ko'proq qizdirilgan jismdan kamroq qizdirilgan jismga o'tadi. Bunday jarayonlar, albatta, termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid emas, ular mavjudligini termodinamikaning ikkinchi qonunining ta'rifida hisobga olish kerak bo'ladigan qaytmas hodisalarga taaluqlidir.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining ta'riflaridan biri quyidagicha: kamroq isitilgan jismdan ko'proq isitilgan jismga issiqlik uzatish jarayonini amalga oshishi mumkin emas. Bu ta'rif ish bajarmasdan turib issiqlik uzatishni amalga oshirishga qo'yilgan to'liq ta'qiqni olib tashlaydi. Bunday ta'qiq faqat issiqlikni sovuq jismdan issiq jismga uzatishda qoladi. Bu holatni Klauziuz quyidagi tarzda ifoda etdi: "Issiqlik o'z holicha sovuq jismdan issiq jismga o'tmaydi".

Agar jarayon aqalli ayrim sohalarida qaytmas bo'lsa, u butunicha qaytmas bo'ladi. Qaytmas sikl muvozanatsiz jarayon siklining bir qisminigina tashkil etgan sikl bo'lishi mumkin.

Karnoning juft mashinasi bo‘lib (69-rasm), uning bir (η) si manfiy sikl bajaruvchi ikkinchi (η') ning dvigateli bo‘lsin. Bir mashinaning sikli muvozanatsiz jarayondan iborat bo‘lib, qaytmasdir. Mashinalar siklini shunday tanlash mumkinki, natijaviy ish nolga teng bo‘lsin: $A+A'=0$, yoki

$$\eta Q_1 + \eta' Q_1' = 0 \quad (1)$$

Ko‘rilayotgan sikl qaytmas, u ish bajarmay sodir bo‘ladi, shuning uchun isitgichdan olinayotgan Q_1 issiqlik unga berilayotgan Q_1' issiqlikdan kattadir:

$Q_1' < Q_1$ va

$$Q_1 + Q_1' > 0 \quad (2)$$

$Q_1 > 0$ va $Q_1' < 0$ ligini hisobga olib va (1) va (2) dan:

$$\eta < \eta' \quad (3)$$

ligini topamiz. Oxirgi munosabatni keltirib chiqarishda bir shart kelib chiqdi-qaytmas jarayon juft mashinalar bilan amalga oshiriladi, bunda qaytmaslik mashinalardan biriga yoki ikkalasiga taaluqlidir. Shunday qilib, *biri yoki ikkalasida ham qaytmaslik o‘rinli bo‘lgan Karnoning ikkita mashinasini taqqoslaganda musbat siklli mashina FIK doimo boshqa mashina manfiy sikli ko‘rsatkichidan kichikdir.*

(3) ning xususiy holini ko‘rib chiqamiz. Juft mashinalarning η' li mashinaning sikli

qaytar bo‘lsin. U holda, $\eta' = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$ va (3) ga muvofiq

$$\eta < \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (4)$$

Tanlangan muvozanatli (η') siklli mashina foydali ish koeffitsiyenti $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ga teng bo‘lgan dvigatel bo‘lishi mumkin. U holda, (4) quyidagicha ta‘riflanadi: Karnoning qaytmas sikli FIK doimo shundau qaytar sikl FIK dan kichikdir (Karnoning ikkinchi teoremasi).

Agar mashina qaytar musbat ish bajarsa, u holda, (3) ga muvofiq,

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} < \eta' < \eta \quad (5)$$

bo‘ladi. Bu tengsizlik quyidagicha ta‘riflanadi: *Karnoning muvozanatsiz manfiy sikli ko‘rsatkichi doimo shunday muvozanatli siklning ko‘rsatkichidan kattadir.*

3. ENTROPIYANING O‘SISH PRINSIPI

Entropiya – sistema holat funksiyasidir. Aynan shuning uchun siklik ham muvozanatli jarayonda, ham muvozanatsiz jarayonda ishchi jism entropiyasining o‘zgarishi nolga teng. Bunda atrof jismlari entropiyasining o‘zgarishi qanday bo‘lishini analiz qilamiz.

Karnoning qaytar siklini ko‘rib chiqamiz. Uning tavsifi uchun

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (1)$$

dan foydalanamiz. Bu yerda Q_1 va Q_2 – ishchi jism olgan va bergan issiqliklar. Issiqliklar ishorasini o‘zgartirib, (1) ni qayta yozamiz:

$$\frac{-Q_1}{T_1} + \frac{-Q_2}{T_2} = 0 \quad (2)$$

bu yerda $-Q_1 = q_1$ va $-Q_2 = q_2$ -termostatlar (mos holda isitgich va sovutgich) olgan yoki bergan issiqliklar. Shunday qilib, Karnoning qaytar sikli natijasida isitgich va sovutgichdagi o‘zgarishlar quyidagi yig‘indi xosdir:

$$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0 \quad (3)$$

$\Delta S_1 = q_1 / T_1$ va $\Delta S_2 = q_2 / T_2$ kattaliklar isitgich va sovutgich entropiyalarining o‘zgarishlarini aniqlaydi:

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 = 0 \quad (4)$$

Ixtiyoriy qaytar siklni Karnoning elementar sikllariga bo'lish mumkin. Agar, masalan, bunday elementar sikllar Z bo'lsa, u holda soni $Y=2Z$ ga teng bo'lgan barcha termostatlar uchun (4) shart bajariladi va ular uchun yana quyidagi tenglik o'rinli:

$$\sum_{i=1}^Y \Delta S_i = 0 \quad (5)$$

Hosil bo'lgan natijani quyidagicha ta'riflash mumkin: *qaytuvchi jarayonda ishtirok etuvchi barcha jismlar entropiyalarining o'zgarishlarining algebraik yig'indisi nolga teng.* Karnoning qaytmas musbat sikli FIK (η) manfiy sikl ko'rsatkichi (η') bilan quyidagi tengsizlik orqali bog'langan:

$$\eta < \eta', \quad (6)$$

Agar faqat to'g'ri sikl qaytmas bo'lsa:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (7)$$

deb yozish mumkin. Sodda o'zgartirishlardan keyin:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0 \quad (8)$$

ni hosil qilamiz. Issiqliklar ishoralarini o'zgartirib, (8) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{-Q_1}{T_1} + \frac{-Q_2}{T_2} > 0 \quad (9)$$

bu yerda $-Q_1=q_1$ va $-Q_2=q_2$ - termostatlarning issiqlik samaralari. Avvalgidek, $\Delta S_1 = q_1/T_1$ va $\Delta S_2 = q_2/T_2$ - isitgich va sovutgich entropiyalarining o'zgarishi. Shuning uchun (9) ga muvofiq,

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 > 0 \quad (10)$$

Manfiy qaytmas siklda ham (10) bajarilishini ko'rsatish oson. Shunday qilib, Karnoning qaytmas (musbat, manfiy) siklida isitgich va sovutgich entropiyalari yig'indisi oshadi (ΔS_1 va ΔS_2 larning turli qiymatlarida) (10) ga mos holda ixtiyoriy qaytmas jarayon uchun

$$\sum_i \Delta S_i > 0 \quad (11)$$

tengsizligi o'rinli bo'lib, unga muvofiq *qaytmas jarayonda ishtirok etuvchi barcha jismlar entropiya o'zgarishlarining algebraik yig'indisi doimo noldan katta.* Klayzius kiritgan (11) tengsizlik entropiyaning o'sish prinsipi deb nom olgan.

Shuni qayd etish kerakki, ayrim jismlarda entropiyaning kamayishi kuzatiladi, biroq u albatta, jarayonda ishtirok etayotgan boshqa jismlar entropiyalarining oshishi bilan qoplanadi. Xuddi shunday, gazni izotermik siqishda uning entropiyasi kamayadi, lekin bir vaqtning o'zida termostatning entropiyasi oshadi (termostat issiqlik oladi).

Alohida olingan jismning muvozanatli (qaytuvchi) o'zgarishlari uchun $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$ munosabat o'rinlidir. Agar jarayon muvozanatsiz (qaytmas) bo'lsa, u holda $\Delta Q_{m-siz} < \Delta Q_{m-li}$ bo'ladi, shuning uchun bunday turdagi o'zgarishlar uchun

$$(\Delta S)_{m-siz} > \int \frac{dQ}{T} \quad (12)$$

(5) va (11) ni birlashtirib:

$$\sum_i \Delta S_i \geq 0 \quad (13)$$

deb yozamiz. (13) munosabat termodinamikaning (qaytuvchan va qaytmas jarayonlar uchun) ikkinchi asosi yozilishining umumiyroq shaklidir; (13) ga muvofiq, *jarayonda ishtirok etuvchi*

barcha jismlar entropiyasi o'zgarishining yig'indisi nolga teng yoki noldan katta. Bunda tenglik qaytuvchanga, tengsizlik esa qaytmas jarayonlarga tegishli.

Albatta, tabiatda boradigan jarayonlar yig'indisi butunicha yoki o'zining ayrim qismlarida qaytmasdir. Shuning uchun izolyasiyalangan sistemada faqatgina entropiyaning oshishiga olib keluvchi jarayonlarga boradi (*izolyasiyalangan sistema entropiyasi faqat o'sishi mumkin*).

(13) ni namoyish etuvchi misollar keltiramiz. Vakuumba gazning kengayishida uning temperaturasi o'zgarmaydi, hajmi esa oshadi. $S=C_v \ln T + R \ln V$ ga muvofiq, entropiya ham oshadi: vakuumba kengayish qaytmas jarayondir. Gazning dastlabki holatiga qaytishi uchun uni izotermik siqish kerak bo'ladi. Bu esa ish bajarilishi va termostatda issiqlik ajralishi bilan bog'liq. Bunday o'zgarishlar ular entropiyasining o'sishiga bog'liq bo'lgan atrof jismlarida sodir bo'ladi.

Qaytmaslik muvozanatsizlik bilan bog'liq bo'lishi shart emas. Issiqlik o'tkazuvchanlikda jismda muvozanatlikka yetarlicha yaqin bo'lgan o'zgarishlar sodir bo'lishi mumkin, biroq bunda issiqlik almashinuvida ishtirok etayotgan barcha jismlar uchun (11) tengsizlik o'rinli bo'ladi. Buni ko'rsatamiz. Temperaturalar T_1 va T_2 bo'lgan ($T_1 > T_2$) ikkita I va II jism orasida issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik uzatilishi amalga oshirilsin. Birinchi jism kichik miqdor issiqlik ΔQ_1 berganda, bunda ikkinchi jism $\Delta Q_2 = -\Delta Q_1$ issiqlik oladi, jismlar temperaturasi o'zgarmas

$$\Delta S_1 = \frac{\Delta Q_1}{T_1}$$

deb hisoblash mumkin (jarayon kvazi muvozanatli), entropiyalarning o'zgarishi esa

$$\frac{\Delta Q_2}{T_2} = \Delta S_2$$

va bo'ladi. Sistema entropiyalarining umumiy o'zgarishi musbat bo'lib, bu qaytmas jarayonlar uchun xosdir. $\Delta Q_1 = -\Delta Q_2$ va $\Delta Q_2 > 0$ ligidan:

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} > 0$$

4. ENTROPIYA VA EHTIMOLLIK

Termodinamikaning ikkinchi asosini ifoda etuvchi

$$\sum_i \Delta S_i > 0 \quad (1)$$

tengsizlik izolyasiyalangan sistemadagi jarayonlarni tavsiflaydi. Shunga muvofiq izolyasiyalangan sistemadagi qaytmas jarayonlar uning entropiyasining sistema muvozanatli holatiga erishishiga to'g'ri keladigan ayrim maksimal qiymatgacha oshishiga olib keladi.

Gazlarning kengayishi, ikki gazning aralashuvi, suyuqliklarning bug'lanishi kabi bunday o'z-o'zidan boruvchi jarayonlarda entropiyaning oshishi sistema tartibsizligi darajasining oshishi bilan boradi. Sistemaning muvozanatsiz holatdan muvozanatli holatga o'tishi doimo kamroq ehtimolli holatdan ko'proq ehtimolli holatga o'tishi hisoblanadi. L. Bolsman (1896 y) har doim entropiya va termodinamik ehtimollik orasida to'g'ri bog'liqlik bor deb taxmin qildi: $S \sim \ln W$. M. Plank (1906) proporsionallik koeffitsiyenti Bolsman doimiysi ekanligini topdi:

$$S = k \ln W \quad (2)$$

Bu formula Bolsman xizmatlari sharafiga uning nomini olgan.

Entropiya bilan ehtimollik orasidagi bog'lanish termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini statistik nuqtai nazardan quyidagicha talqin qilishga imkon beradi: tabiatda barcha jarayonlar sistema holati ehtimolli o'sishi tomonda sodir bo'ladi. Shuning bilan birga, ikkinchi qonun birinchi qonun singari absolyut emas. Barcha o'z-o'zidan boradigan jarayonlar katta ehtimollikka ega bo'lgan holatga olib keladi degan fakt jarayonning boshqa yo'nalishi mumkin emasligini bildirmaydi. Muvozanatli holatga o'tish ehtimolli muvozanatli holatdan o'z-o'zidan chiqish ehtimolligiga qaraganda kattadir. Shunday qilib, entropiya tushunchasini statistik talqin qilish shunga imkon beradiki, agar sistema dastlabki berilgan muvozanatsiz holatda bo'lsa, u katta ehtimolli holatga o'tishini kutish mumkin. Entropiya kamayishi bilan boradigan jarayonlarni xayolga keltirib bo'lmaydi.

ENTROPIYA VA TARTIBSIZLIK

Sistemaning tartibsizlik darajasi bilan uning entropiyasi orasida bogʻlanish bor. Bu bogʻlanish shundan iboratki, sistemaning tartibsizligi ortgan sari, uning entropiyasi ham ortib boradi. Shuning uchun, entropiyani tartibsizlik oʻlchovi deb hisoblash mumkin. Buni misollar yordamida tushuntirishga harakat qilaylik.

Agar toʻsiq bilan ikkiga ajratilgan idishda ikki turli gaz boʻlsa, u holda sistemaning bunday holati bu gazlarning aralashmasi boʻlgandagidan tartibliroq boʻladi. Toʻsiq olinsa, maʼlum vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi. Natijada sistema entropiyasi ortadi. Moddaning qattiq holatdan suyuq holatga oʻtishi yoki suyuq holatdan gazsimon holatga oʻtishi tartibsizlikning va entropiyaning ortishiga olib keladi. Har qanday oʻz-oʻzidan roʻy beradigan tabiiy jarayon shunday roʻy beradiki, bunda sistemaning tartibsizligi ortadi: jismlar temperaturasi oʻz-oʻzidan tenglashadi, gazlar boʻshliqqa oʻz-oʻzidan kengayadi, gazlar oʻz-oʻzidan aralashadi va hakazo.

Holat entropiyasi va ehtimolligi orasidagi bogʻlanishni nazarda tutib shuni ham qayd qilib oʻtish lozimki, katta tartibsizlik xos boʻlgan holat tartiblashganroq holatga nisbatan katta termodinamik ehtimollikka ega boʻladi.

Tajribalar shuni koʻrsatadiki, temperatura pasayganda sistemada tobora koʻproq darajada tartiblanish kuzatiladi, yaʼni sistemaning entropiyasi kamayib boradi. Shunday ekan oʻz-oʻzidan quyidagi savol tugʻiladi: entropiya kamayib bo-rib oʻzining maʼlum bir chegaraviy qiymatiga erishadimi yoki yoʻqmi bu savolga javob Nernstning issiqlik teoremasida (1906) berilgan. Uni koʻpincha termodinamikaning III bosh qonuni deb ham yuritishadi va u quyidagicha taʼriflanadi: absolyut nolga yaqinlashganda entropiya muayan chekli chegaraga (limitga) intiladi; temperaturaning absolyut nolida sistemani bir muvozanat holatdan ikkinchi muvozanat holatga oʻtkazuvchi barcha jarayonlar entropiya oʻzgarmagan holda sodir boʻladi.

Biz bu yerda ushbu qonun va undan kelib chiqadigan natijalar muhokamasi ustida toʻxtalib oʻtirmagan holda, bu qonunning tajriba bilan mos keluvchi baʼzi bir natijalarini keltirib oʻtish bilangina cheklanamiz. Bu qonundan kelib chiqadigan natijalarning asosiylari quyidagilar:

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning C_p va C_v issiqlik sigʻimlari nolga intiladi;

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti va bosim termik koeffitsiyenti nolga intiladi.

26-MAʼRUZA. REAL GAZLAR. MOLEKULALARARO OʻZARO TAʼSIR KUCHLARI. EKSPERIMENTAL IZOTERMALAR. REAL GAZNING HOLAT TENGLAMASI VAN-DER-VAALS TENGLAMASI.

Reja

1. Molekulalararo oʻzaro taʼsir kuchlari.
2. Eksperimental izotermalar.
3. Real gaz toʻgʻrisida tushuncha
4. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati
5. Xulosa.

Tayanch tushunchalar. Real gaz. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati. Van-Der-Vaals izotermalari. Kritik holatlar.

Biz ideal gaz molekulyar-kinetik nazariyasini oʻrganganimizda gaz zarralarini (molekulalarini) elastik sharlarga oʻxshagan va tartibsiz harakatlanuvchi molekulalardan iborat deb hisoblagan edik. Molekulalar orasidagi kuchlar faqat ular bir-biriga urilgandagina taʼsir qiladi va bu kuchlar itarishish elastik kuchlardir. Molekulalarning oʻlchamlari molekulalar orasidagi oʻrtacha masofaga nisbatan nazarga olmasa boʻladigan darajada kichik deb hisoblanadi.

Bu model ideal gaz Boyl Mariott, Gey-Lyussak qonunlariga aniq boʻysoʻnadigan gazga mos keladi. ammo, biz aytib oʻtganimizdek real gazlar bu qonunlarga faqat taqriban boʻysoʻnadi. YUqori bosimlarda hamma gazlar ham Boyl-Mariott qonuniga boʻysoʻnmay qoʻyadi.

Molekulalarni sharlar deb hisoblar ekanmiz, ularning radiuslari 10^{-8} sm chamasidagi kattaliklar deb olishimiz kerak. Bunda bir dona molekulaning hajmi:

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

Normal sharoitdagi 1 cm^3 gazda $n_0=3 \cdot 10^{19}$ dona molekula bor. Demak 1 sm^3 hajmda bo'lgan barcha molekulalarning jami hajmi $V^1 = n_0 V \approx 10^{-4} \text{ sm}^3$ ga teng.

Ya'ni $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ pa}$ bosim va 0°S temperaturadasi gaz molekulalarining hajmi gaz hajmining taxminan o'n mingdan bir qisminigina egallar ekan. 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'lmachlariga ega bo'lishi. Ikkinchidan (molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining elastik sharlardagi o'zaro ta'sir kuchlariga qaraganda ancha murakkab bo'lishidir. Bu ikki sababni 1873 yilda Gollandiyalik fizik Van-Der-Vaals nazarga tutdi. Birinchi sabab molekulalarning o'lchami birligidir. Molekulalarning erkin harakatlanishi uchun hajmi V dan biror V kattalikga qadar kichikdir, Ya'ni $V_0 - V - \epsilon$. Ideal gazning 1 moli uchun

$$PV_0 = RT \quad (20.1)$$

teng edi. Agar molekulalarni o'lchamlarini hisobga olsak

$$P(V_0 - \epsilon) = RT \quad (20.2)$$

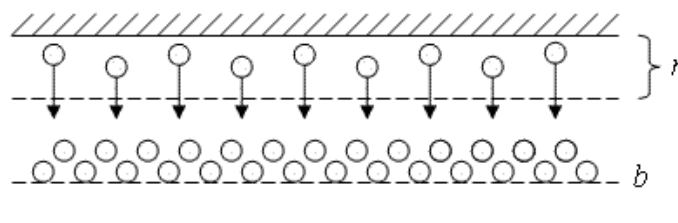
tenglik o'rinli bo'ladi.

(20.1) tenglamadan, $R \rightarrow \infty$ bo'lganda gazning hajmi $V_0 \rightarrow \infty$ intiladi. Ammo bunday bo'lishi mumkin emas. Gaz molekulalar orasidagi bo'sh fazoning kamayishi hisobiga siqiladi. (20.2) formulaga ko'ra $R \rightarrow \infty$ bo'lganda, gazning hajmi $V_0 - \epsilon$ ga teng bo'lishiga intiladi.

Ikkinchi sababli (molekular orasida o'zaro ta'sir kuchlarining mavjudligi, bir(biridan ma'lum uzooqlikda turgan molekulalarning o'zaro tortilishlariga olib keladi. bu tortilish kuchlari molekulalar orasidagi masofa juda kichik bo'lgandagina yanada kuchliroq bo'lgan itarishish kuchlari bilan atashadi. Molekulalar orasidagi tortirishi kuchlari ta'sirida gaz guyo uncha idish devorlari ko'rsatayotgan tashqi R bosimdan ko'ra kattaroq R^1 bosim ta'sir etayotgandek, Boyle Mariott qonunidan kelib chiqadigan hajmga qaraganda kichikroq bo'lgan V hajmni egallaydi. SHunday qilib (20.2) tenglikda tashqi R bosimni $R^1 = R + R_i$ kattalik bilan almashtirish kerak, buning natijasida

$$(P = P_i)(V_0 - \epsilon) = RT \quad (20.3)$$

tenglik hosil bo'ladi. P_i bosim gazning ichki bosim deyiladi. gaz joylashgan A idishda molekulalarning o'zaro ta'sirini quyidagicha (20.1-rasm) ko'rsatish mumkin.



20.1-rasm

Devor yaqinidagi molekulalar r masofada turgan molekulalar a va b qatlamdagi molekulalarga ta'sir qiladi desak va bu qatlamning hajmi birligidagi molekulalar soni n_0 ga proporsional bo'ladi. Nitajada, devor yaqinidagi molekulalarga ta'sir qilayotgan va gazning ichiga qarab yo'nalgan kuchlar n_0^2 ga proporsionaldir.

Mana shu kuchning devor izi birligiga to'g'ri keladigan miqdori ichki bosim R_i ni bildiradi. Ichki bosim R_i ning qiymati o'zaro ta'sir qilayotgan molekulalarning tabiatiga ham bog'liqdir.

Bundan:

$$P_i = a^1 n_0^2 \quad (20.4)$$

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

$n_0 = \frac{N}{V_0}$ bo'lgani uchun (N - Avagadro soni, V_0 - bir mol gazning hajmi) P_i ning ifodasini quyidagicha yozish mumkin.

$$P_i = \frac{a^1 N^2}{V_0^2} \quad (20.5)$$

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

$$P_i = \frac{a}{V_0^2} \quad (20.6)$$

ga teng bo'ladi. (20.6) chi (20.3) ifodaga quysak 1 gaz uchun Van-Der-Vaals tenglamasini hosil qilamiz.

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - \epsilon) = RT \quad (20.7)$$

Bu erda a va v lar bosimga va hajmga kiritilgan tuzatmalar bo'lib, berilgan gaz uchun aniq qiymatlarga ega bo'ladi. R-kattalik gaz doimiysi,

$$R = 8,31 \cdot 10^7 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol} = \frac{8,31 \cdot 10^7}{4,19 \cdot 10^7} = 1,9858 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol} \approx \text{kal/grad} \cdot \text{mol}.$$

Bu erda

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Жс/К} \cdot \text{кмоль}$$

Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati shundan iboratki, agar gazning molyar hajmi V_0 juda katta bo'lganda v -tuzatma V_0 ga nisbatan, a/V_0^2 - esa R ga nisbatan juda kichik bo'lganligi uchun ularni hisobga olmaslik ham mumkin. u holatda Van-Der-Vaals tenglamasi (20.1) tenglama

$$PV_0 = RT \text{ shaklini oladi.}$$

Demak Mendeleev-Klapeyron formulasining taqribiy ekanligi yaqqol ko'rinadi. Kichik R bosimlarda (katta V_0 hajmlar) sohasidagi haqiqatga yaqinroq bo'ladi. Bosim R katta bo'lganda esa a va v tuzatmalar e'tiborga olinishi kerak.

Ya'ni Van-Der-Vaals (20.7) foydalaniladi. Van-Der-Vaals formulasi ham absolyut aniq formula emas, ammo u Mendeleev Klapeyron formulasiga qaraganda haqiqatga ancha yaqindir.

Van-Der-Vaals formulasi (20.7) ni m massali gaz uchun ifodalaydigan bo'lsa u holda uning hajmini V belgilaymiz. Berilgan temperatura va bosimda

$$V = \frac{m}{\mu} V_0 \quad (20.8)$$

bo'ladi, bunda μ - gazning molekulyar og'irligidir.

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

Van-Der-Vaals tenglamasidagi V_0 o'rniga uning (20.8) tenglik asosidagi qiymatini quyamiz, u holda

$$\left(P + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \frac{a}{V_0^2} \right) \left(V - \frac{m}{\mu} \epsilon \right) = \frac{m}{\mu} RT \quad (20.9)$$

ko'rinishini oladi. Bu formulaga m - massali gaz uchun Van-Der Vaals tenglamasi deyiladi. Van-Der Vaals tenglamasidagi v hajmga kiritilgan tuzatma hisoblashlarda

$$\epsilon = \frac{\sqrt{2}}{2} \pi \sigma^3 N \quad (20.10)$$

deb belgilab olinadi $\sigma=2r$ masofa. SHuningdek bir dona molekulaning hajmi

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi\sigma^3 \quad (20.11)$$

Ekanligini e'tiborga olsak u holda (20.10) formula quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\epsilon = 3\sqrt{2} \cdot VN \approx 4VN \quad (20.12)$$

Bu erda $V \cdot N$ – bir mol gazda barcha molekularning hajmini ifodalagani uchun, molekular hajmi uchun Van-Der-Vaals kiritgan v tuzama molekularning o'z hajmidan taxminan 4 marka kattadir.

Van-Der Vaalsning ikkinchi a tuzatmasi molekular o'zaro ta'sir kuchlarning xarakteriga bog'liqdir. Van-Der-Vaals tenglamasi:

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

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.

$$PV^3 - (\epsilon P + RT)V^2 + aV - a\epsilon = 0 \quad (20.13)$$

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

$$V^3 - \left(\epsilon + \frac{RT}{P}\right)V^2 + \frac{a}{P}V - \frac{a\epsilon}{P} = 0 \quad (20.14)$$

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.

Mavzuga doir savollar:

1. Molekulararo 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.

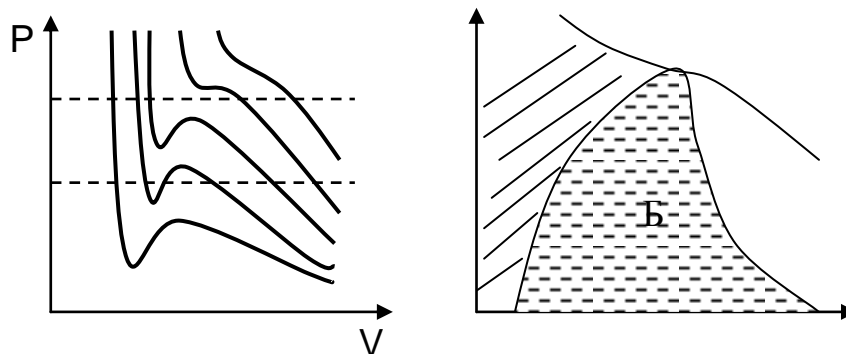
27-MA'RUZA. VAN-DER-VAALS IZOTERMALARI. KRITIK HOLAT.

Reja

1. Van-Der-Vaals izotermalari.
2. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati
3. Kritik holat
4. Xulosa.

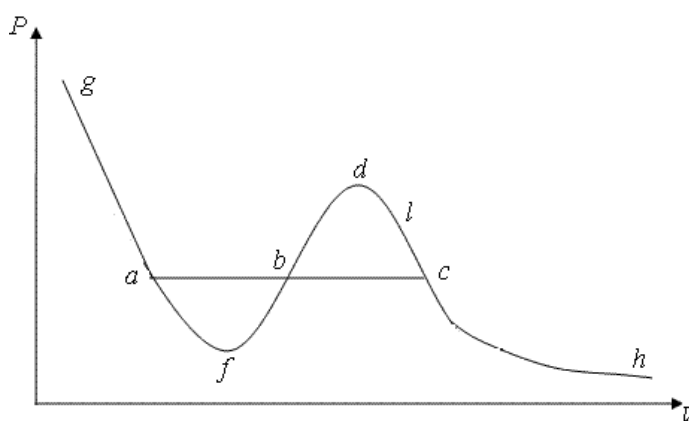
Tayanch tushunchalar. Real gaz. Van-Der-Vaals tenglamasining fizik mohiyati. Van-Der-Vaals izotermalari. Kritik holatlar.

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 (20.1) tenglamaga tegishli izotermalarni, Ya'ni o'zgaras temperaturada R bosimning V(molyar hajmga bog'lanishini qarash va ularni tajriba ma'lumotlarda olingan izotermalar bilan solishtirish kerak. Bizga ma'lumki ideal gazning izotermasi giperbola edi, undan farqli ravishda (20.1) tenglamaga tegishli bo'lgan izoterma quyidagicha ko'rinishda bo'ladi. biz uni Van-Der Vaals izotermasi deb ataymiz.



20.2-rasm

Bu izotermada bosimni bitta R_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 20.3-rasmda ko'rsatish mumkin. 20.3-rasmda tutash chiziqlar bilan tajribada olingan izotermalar. Punktir chiziqlar bilan esa Van-Der Vaals izotermasi keltirilgan.



20.3-rasm

Rasmdan ko'rinib turibdiki to'g'ri chiziqli gorizontol a va v qismi o'rniga Van-Der Vaals izotermada bu soha maksimum va minimumli harakterli gajak ko'rinishda bo'ladi. shuni aytish kerakki tajribadan olingan izoterma grafikadan ad va ch lar Van-Der-Vaals tenglamasiga kuzatilmas ekan, chunki bu qismiga bosimning hajmga odatdan tashqari bog'lanishi mos keladi, bosim ortishi bilan hajm kamaymaydi, balki ortadi.

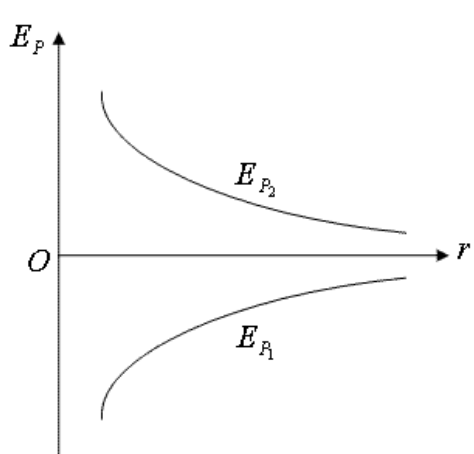
Cd – qism moddaning gaz holatiga mos keladi.

af – qism ad (tarmoqning davomi hisoblanadi va ko'pincha moddaning bu holatiga o'ta qizigan suyuqlik deyiladi. o'ta qizigan suyuqlik deb ochiq idishda qaynash temperaturasidan yuqori temperaturagacha qizdirilgan, biroq qaynamayotgan suyuqlikka aytiladi. Bunda suyuqlik erkin bo'lganda Ya'ni uning massasi o'zgaradi. Ammo bizni yopiq idishdagi aniq massali suyuqlik yoki gazning tabiati qiziqtiradi.

Rasmdagi Sd va af qismlarga mos keluvchi holatlar va fd 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'zatilmaydi. Ikkita A va V molekula orasidagi masofani r bilan beglilaymiz. Ularni tortishish kuchi f_1 manfiy, itarshi kuchini f_2 musbat deymiz.

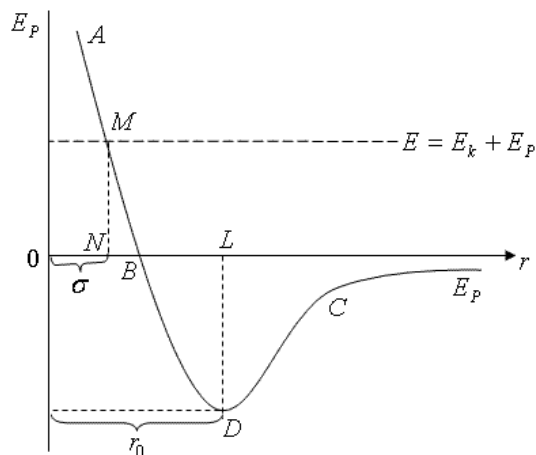
Bu kuchlar mos ravishda o'zaro tortishadigan molekullarning E_r va o'zaro itarishadigan E_r potensial energiyalarni hosil qiladi (20.4-rasm). SHuningdek 20.5-rasmda ifodalanganidek real gazlarda molekullarni o'zaro ta'siri ular bir-biriga tengmasdanoq Ya'ni r_0 masofadan ta'sirlanadi.



20.4-rasm

f_1 va f_2 kuchlarga E_{R1} va E_{R2} potensial energiyalar mos keladi.

$$E_{P_1} = -\frac{C'}{r^{k_1}}; \quad E_{P_2} = -\frac{C''}{r^{k_2}}; \quad k_1 = \chi_1 - 1; \quad k_2 = \chi_2 - 1$$



20.5-rasm

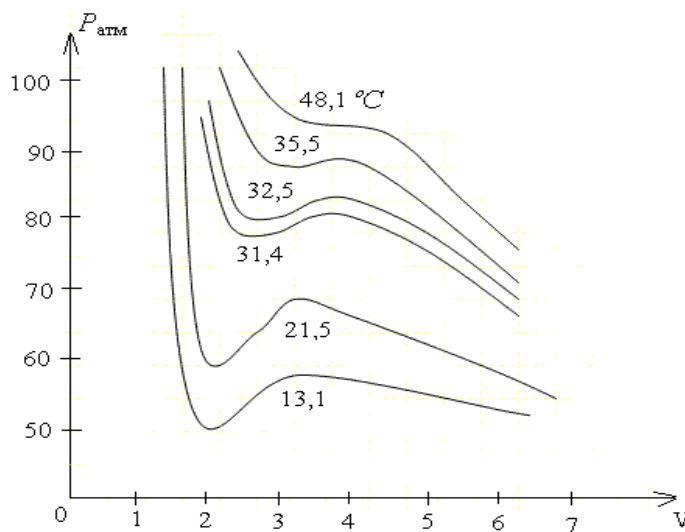
20.5-rasmdan A – molekulanı qo‘zg‘almas deb, V – molekulanı A molekulağa nisbatan harakatlanadi deymiz. L (nuqtada $E_k = E - E_p$ Van-Der-Vaals tenglamasining ahamiyati shundaki bu moddaning faqatgina ikkita suyuq va gazsimon fizikasi mavjudligini tavsiflash bilan cheklanmaydi. U kritik temperatura va kritik holatining ham muhim faktlaridan bevosita kelib chiqadi.

Temperatura o‘zgarganda bu izotermalarning qanday o‘zgarishini ko‘raylik. R–V grafikda Karbon oksidiga tegishli izotermalar berilgan (20.6-rasm). Bu izotermalar a va v ning qiymatlari tajribadan olingan:

$$a = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}$$

$$e = 42,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

qiymatlari uchun hisoblangan.



20.6-rasm

Bu konstantalarning eksperimental ravishda qanday aniqlanishi grafikda keltirilgan. 20.6-rasmdagi egri chiziqlardan temperatura ko‘tarilgan sari izotermalarning yuqoriroq joylashishi ko‘rinib turibdi. Ammo shunday temperaturada (31,4°S da) izotermaning 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. Burilish 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 (SO₂) ning eksperimental izotermalari

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

Kritik nuqtada moddaning siqiluvchanligi cheksizlikka teng bo‘lishini aytish kerak. Bunda gazning siqiluvchan holati

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial P}$$

formula bilan xarakterlanadi. Biroq kritik nuqtada $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$ bo‘lgani uchun $\frac{\partial V}{\partial P} = \infty$, binobarin, χ

ham ∞ ga teng bo‘ladi.

Van-Der Vaals izotermalari gazning xossalari ideal gaz izotermasiga qaraganda aniqroq aks etibgina qolmay, gazlarning suyulish prosessini, shuningdek issiqlikning T_k kritik temperatura va bu temperaturaga mos keluvchi qolgan ikki kritik parametr – V_k kritik hajm va R_k kritik bosimning qiymatlarini hisoblash qiyin emas.

Haqiqatdag ham, Van-Der Vaals tenglamasi (20.10) ning chap qismi, Ya’ni quyidagi

$$V^3 - \left(b + \frac{RT_k}{P_k} \right) V^2 + \frac{a}{P_k} V - \frac{ab}{P_k}$$

ifoda $T=T_k$ va $R=R_k$ qiymatlarda aniq kub bo‘ladi va uni quyidagicha ifodalash mumkin:

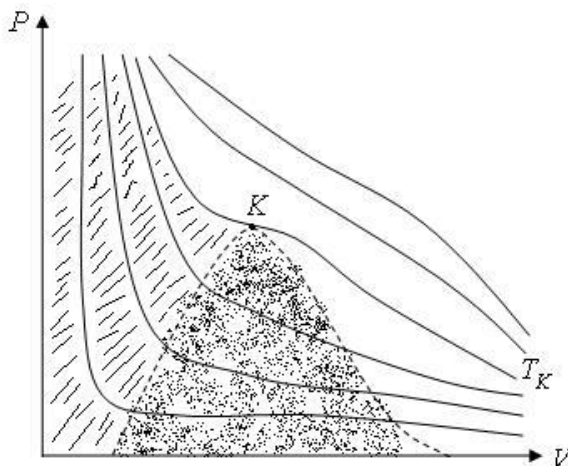
$$V^3 - \left(b + \frac{RT_k}{P_k} \right) V^2 + \frac{a}{P_k} V - \frac{ab}{P_k} = V^3 - 3V_k V^2 + 3V_k V - V_k^3 \quad (20.11)$$

Bu tenglik ayniy ravishda bajarilishi uchun V ning birday darajalarining koeffisientlari tenglamaning ikki tomonida o‘zaro teng bo‘lishi kerak:

$$b + \frac{RT_k}{P_k} = 3V_k, \quad \frac{a}{P_k} = 3V_k^2, \quad \frac{ab}{P_k} = V_k^3$$

Bu tenglamalar sistemasini echib, kritik parametrlarning a va b konstantalar orqali ifodalangan qiymatlarini olamiz: juda kam siqiluvchanlik xosasini ham (A.K.Kinoin va I.K.Kinoin «Molekulyar fizika» T.O‘qituvchi, 1978. 230-246 betlar) aks ettiriladi.

Van-der Vaals izotermalari orasidagi burilishlari bor bo‘lgan izotermalarni urilishlari bo‘lmagan izotermalardan ajratib turuvchi bir izoterma bor. Bu izoterma kritik deyiladi, bunga mos bo‘lgan temperatura T_k esa kritik temperatura deyiladi. Kritik izotermada burilishlar sohasi o‘rnida faqat K burilish nuqtasigina bo‘ladi. K -nuqta kritik nuqta deyiladi. unga mos bo‘lgan V_k va R_k bosim esa kritik hamj va kritik bosim deyiladi.



20.7-rasm.

Kritik temperatura tushunchasi dastlab D.I.Mendelev tomonidan 1861 yilda kiritilgan.

20.7-rasmda quyidagicha xulosaga keladi.

1. Kritik temperatura T_k yuqori temperaturada modda faqat holatdagina mavjud bo'la oladi. T-temperaturasi kritik temperatura T_k dan yuqori bo'lgan gazni qanaqa siqish bilan suyuq holatga o'tkazib bo'lmaydi. Kritik temperaturadan past temperaturalarda modda bosimga qarab gazzimon holatda yoki bir vaqtning o'zida ikki faza: suyuqlik va tuyingan bug' holatlarida mavjud bo'lishi mumkin.

2. Tuyingan bug'ning elastikligi R_0 shu berilgan moddaning kritik bosimi R_k dan katta qiymatga ega bo'la olmaydi.

3. Moddaning suyuq holatdagi hajmi berilgan miqdor moddaning kritik hajmidan katta qiymatlariga ega bo'la olmaydi. Ko'pchilik suyuqliklarning va ularni aralashmalarining kritik temperaturalarining M.P.Avenarius va uning shogirdlari A.I.Nadejdin, V.I.Zayoicheveskiy va boshqalar tekshirdilar. Jumladan A.I.Nadejdin 1885 yilda suvning kritik temperaturasini (374°S) birinchi bo'lib aniqlanid. Mashhur rus fizigi A.G.Stoletov ham moddaning kritik massasi bilan shug'ullangan. U mavjud eksperimental materiallarni analiz qiladi va ularni nazariy ma'lumotlar bilan batafsil solishtirib chiqdi.

Mavzuga doir savollar:

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.

28-MA'RUZA. REAL GAZLARNING EKSPERIMENTAL EZOTERMALARI. FAZAVIY O'TISHLAR. FAZAVIY O'TISHLAR ISSIQLIGI. KLAPEYRON-KLAUZIS TENGLAMASI.

Reja:

1. Real gazning ichki energiyasi haqida tushuncha.
2. Molekulalarning harakat kinetik energiyasi va o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'im orasidagi bog'lanish.
3. Joule- Tomson effektini mohiyati.
4. Gazlarning suyultirish.
5. Klapeyron-Klauzis tenglamasi.
6. Xulosa.

Tayanch tushunchalar. Real gazning ichki energiyasi. Molekulalarning harakat kinetik energiyasi. O'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi. Joule-Tomson effekti. Gazlarning suyultirish

1. Bizga ma'lumki, ideal gazning U -ichki energiyasi uning molekulalarning harakatining $\Sigma_k = \Sigma \omega_k$ kinetik energiyasidan iborat. Bu energiya berilgan gazning hajmiga ham, bosimga ham bog'liq bo'lmay, faqat uning T – temperaturasi bilan aniqlanadi.

Bir mol ideal gaz uchun $U = E_k = C_V T$ bunda S_V – o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidir.

Real gazda molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari katta ahamiyatga egaligini bilamiz. SHuning uchun real gazning ichki energiyasi uning molekulalar harakatining kinetik energiyasi bilan molekulalarning o'zaro ta'sir potensial energiyasining yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$U = E_k + E_p \quad (21.1)$$

Molekulalarning o'zaro ta'sir potensial energiyasi ular orasidagi o'rtacha masofaga bog'liq, shuning uchun E_R gazning hajmiga bog'liq bo'lishi kerak.

Atrofdagi jismlar bilan energiya almashmagani holda gazning hajmi o'zgarsa, uning ichki

energiyasi zahirasi o'zgarmaydi va bu holda (1) tenglamadan

$$\Delta E_p = -\Delta E_k \quad (21.2)$$

kelib chiqadi.

2. Ma'lumki, o'zgaras hajmdagi issiqlik sig'im real gaz uchun ham faqat molekular harakatining kinetik energiyasi bilan aniqlanganligi sababli bu holda ham $E_k = C_V T$ ga teng bo'ladi.

$$\Delta E_p = -C_V \cdot \Delta T \quad (21.3)$$

tengligini olamiz.

Demak bundan atrofda jismlar bilan issiqlik almashinmay va tashqi ish bajarmay real gazning hajmi o'zgaras uning temperaturasi ham o'zgaradi. buni birinchi bo'lib ingliz fizigi Joul 1887 yilda kuzatadi.

3. Joul S-jumrakka ega bo'lgan naycha bilan tutashtirilgan ikki A va V idishlarni suvli kalorimetrda joylashtirgan. V idishning havosi so'rib olingan bo'lib, A idishdagi havo ma'lum R bosimga ega. S-jumrak ochilganda A idishdagi havo V-idishga oqib chiqib, tashqi ish bajarmagani holda kengayadi.

Joul bu tajribada kelometrning temperaturasi o'zgarmaganini payqagan. SHunga asosan, u ichki energiyasi o'zgarmaydi devgan xulosa chiqadi. 1988 yil Joul shu tajribani Tomson bilan birgalikla yanadi sezgiroq boshqa variantda takrorlaydi. A va V idishlarni tutashtiruvchi naycha g'ovak tiqin C ni joylashtiradi. Naycha issiqlik o'tkazmaydigan modda bilan o'ralgan. A va V idishlardagi gazning R₁ va R bosimi o'zgaras holda saqlab turiladi. Gaz nay idishdagi tiqin orqali bosimi katta idishdan bosimi kichik idishga oqadi. Tiqinning ikkala tomoniga sezgir termometrlar quyiladi. Bu vaqtda har ikkala termometr ko'rsatayotgan termometrlar orasidagi ozgina farq borligi ko'ringan. Tiqinning gaz kengayayotgan tomonidagi temperatura ko'pchilik gazlar uchun bir oz pastroq bo'lgan. vodorod uchun temperaturaning o'zgarishi aksincha bo'lib chiqdi. Vodorod kengayayotganda isigan gaznin hajmi (issiqlik almashinmay) kengayganida uning temperaturasini o'zgarishidan iborat bo'lgan mana shu effekt Joul - Tomson effekti deyiladi.

Bu hodisa real gazning xossalarning ideal gaz xossalari bilan farq qilishini natijasidir. Gaz kengayishi natijasida sovishdan iborat bo'lgan effektga Joul - Tomson musbat effekti deyiladi. gaz kengishi natijasida isisa bunday effektga Joul - Tomson manfiy effekti deyiladi.

Keyinchalik Joul - Tomson effektining ishorasi Van-Der Vaals tenglamasidagi a va v tuzatmalardan qaysi birining roli kattaroq bo'lishiga bog'liq ekanligida aniqlanadi. Joul - Tomson effekti bilan Van-der Vaalsning

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - \epsilon) = RT \quad (21.4)$$

tenglamadagi a va v tuzatmalar orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun potensial egri chiziqlardan foydalanish mumkin.

Ma'lumki, molekularning o'zaro ta'sir kuchlari O ga teng bo'ladigan ideal gazlarda Joul-Tomson effekti bo'lmaydi. Joul - Tomson effekti miqdoriy jihatdan Joul-Tomson differensial koeffisienti deb ataluvchi μ bilan xarakterlanadi. Ya'ni

$$\mu = \frac{\Delta T}{\Delta P} \quad (21.5)$$

Agar $\Delta R < 0$ va $\Delta T < 0$ bo'lganda μ - musbat $\Delta R > 0$ va $\Delta T > 0$ bo'lsa μ - manfiy ekanini bildiradi. Joul-Tomson, proses qaytmas prosessdir, demak bu prosessda entropiya ortadi, $dS > 0$ Joul-Tomson koeffisientini hisoblaymiz.

$d(U + PV) = 0$ tenglamadan

$$d(U + PV) = dU + PdV + VdP = 0 \quad (21.6)$$

Ammo $dU = PdV = TdS$ ekanligini e'tiborga olsak

$$TdS = VdP = 0 \quad (21.7)$$

Entropiyaning dS o'zgarishini dT o'zgarishi va bosimning dP o'zgarishi orqali ifodalasak

$$dS = \frac{C_p dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP \quad (21.8)$$

teng edi. (21.8) formulani (21.7) quyamiz.

$$C_p dT - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP + v dP = 0 \quad (21.9)$$

Bundan Joule-Tomson koeffisientining quyidagi ifodasini olamiz:

$$\mu = \frac{dT}{dP} = \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V}{C_p} = \frac{V}{C_p} (\alpha T - 1) \quad (21.10)$$

Bu erda $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ gazning kengayish koeffisienti Joule-Tomson koeffisienti o'zining ishorasini o'zgartiradi. Bu T_i – temperatura inversiya temperaturasi deyiladi.

4. YUqorida aytilgandek Joule-Tomson effekti qaytmas prosessdir. Issiqlik mashinasining f.i.k. to'g'risida aytilgan fikrlar hammasi sovitish apparatlariga ham tengligidir, chunki ularni issiqlik dvigatellariga teskari qurilmalar deb tushinish mumkin.

Sovitgich mashinada issiqlik sovuq jismdan olib, issiqroq jismga berilishini eslaylik. Bunda mexanik ish bajariladi, yana shu ish hisobidan sovuq jismdan issiq jismga issiqlik uzatiladi. Bunda prosess o'zidan bajarilmasligini bilamiz. Sovitgich mashinasining f.i.k. sifatida sovitalyotgan jismdan olingan Q issiqlik miqdorining bunda sarf qilingan A ishga nisbatini olish kerak:

$$\varepsilon = \frac{Q}{A} \quad (21.11)$$

Sovituvchi apparatlarga qo'llanilganda bu koeffisient sovitish koeffisienti deb yuritiladi. Karno tsikli bo'yicha ishlaydigan sovitkich mashina uchun sovitish koeffisienti

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (21.12)$$

teng bo'ladi, T_1 – sovitalyotgan jismning temperaturasi T_2 – issiqlik uzatilayotgan jismning temperaturasi. Sovitish koeffisienti, albatta birdan katta ham bo'lishi mumkin.

Texnikada gazlar (havo) ni suyultirish uchun ishlatiladigan tarixiy birinchi mashinalar Linde va Gempsonlar tomonidan 1985 yil yaratilgan ular gazlarni kritik temperaturadan past temperaturagacha sovitish va suyultirish uchun drossellash metodidan foydalanganlar.

1902 yilda Klod birinchi marta detanderli mashinalar ishlab chiqib unda havoni suyultirdilar. P.L.Kapisa Klod mashinasida foydalanib proshenli detanderturbinaga Ya'ni turbodetanderga almashtirildi va unda 77,32K temperaturada suyuq azot va 90,12 K - temperaturada suyuq kislorod olinadi.

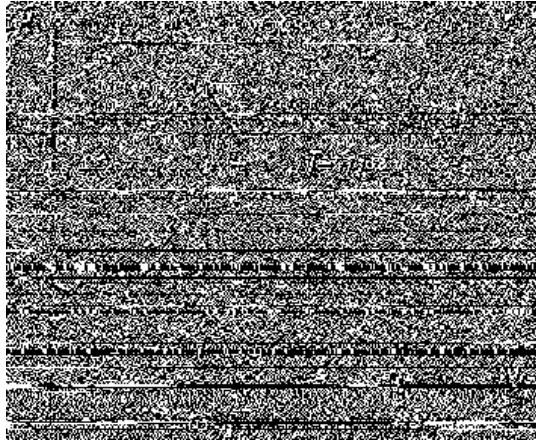
Klapeyron-Klauzius tenglamasi

Bosim o'zgarishining fazoviy o'tish haroratiga ta'sirini qaraymiz, masalan suyuqlik qaynash haroratiga ta'sirini Karno siklini hosil qilamiz, bunda ishchi jism bo'lib to'yingan bug'lari bo'lgan suyuqlik xizmat qiladi. Isitkich ishchi jismga Q_1 issiqlik miqdori beradi va uning natijasida jism bir holatdan ikkinchi holatga izotermik va izobarik o'tishi yuzaga keladi. (19-rasm).

Q_1 issiqlik hisobiga doimiy P bosim ostida suyuqlikning m massasi bug'lanadi, unga esa

λ bug`lanish issiqligi mos keladi.

U holda $Q_1 = m\lambda$ va jarayon 1,2 tog`ri chiziq bilan tasvirlanadi. Bunday fazoviy o`tish harorati T . Keyinchalik jism holatini 2dan cheksiz yaqin 3 holatga adiabatik keltiramiz. Adiabatik jarayonda bug`lanish issiqligi sistemaning o`zidan olinadi hamda sistema harorati ΔT ga kamayadi. Haroratning pasayishi to`yingan bug` bosimini dP qiymatga kamaytiriladi. Sistema 3 holatdan 4 holatga izotermik qisish yo`li bilan o`tkaziladi, bunda sovutkichga Q_2 issiqlik beriladi, harorat $T-dT$ ga teng. Sikl 4 holatdan 1 holatga adiabatik o`tish bilan tugaydi.



19-rasm. Klapeyron-Klauzius tenglamasi uchun.

Izotermik 1,2 o`tishda sistema hajmining o`zgarishi $m(V_2 - V_1)$ ga teng.

Bu yerda $V_2 - T$ haroratda to`yingan bug`ning solishtirma hajmi, V_1 -suyuqlikning solishtirma hajmi.

Bosimning o`zgarishi dP cheksiz kichik kattalik bo`lgani uchun 1234 figurani $m(V_2 - V_1)$ asosli va dP balandlikli parallelogramm deb qarash mumkin. Parallelogramm yuzi siklning ishiga teng bo`ladi:

$$dQ = Q_1 - Q_2 = m(V_2 - V_1)dP$$

Qaralgan sikl qaytar Karno sikli bo`lib, uning foydali ish koeffitsienti (F.I.K.) quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{dT}{T} = \frac{V_2 - V_1}{\lambda} dP$$

bundan

$$dT = T \frac{V_2 - V_1}{\lambda} dP \quad (1)$$

(1) tenglama Klapeyron-Klauzius tenglamasi deyiladi. Bu tenglama xohlagan 1-tur fazoviy o`tishlarda qo`llaniladi va bosim o`zgarganda fazoviy o`tish dT harorati o`zgarishini topish imkonini beradi.

Suv qaynayotgan paytda bug`ning V_2 hajmi hamma vaqt V_1 hajmdan katta, shuning uchun tenglamaning o`ng tomoni doimo musbat, ya`ni dP bosim o`zgarishi va dT haroratning o`zgarishi bir xil ishorali bo`ladi. Bu shuni ko`rsatadiki, bosimning oshishi bilan suvning qaynash harorati ham ortadi.

Mavzuga doir savollar:

1. Real gazning ichki energiyasini tushuntiring.
2. Molekulalarning harakat kinetik energiyasi va o`zgarimas hajmdagi issiqlik sig`im orasidagi bog`lanishni tushuntiring..
3. Joule-Tomson effektini mohiyati nimadan iborat.
4. Gazlarning suyultirish jarayonini ta`riflang.

29-MA'RUZA. SUYUQLIKLARNING XOSSALARI. SUYUQLIKLARNING ISSIQLIK SIG'IMLARI. SIRT TARANGLIGI. IKKI MUHIT CHEGARASIDAGI MUVOZANAT SHARTLARI.

Reja

1. Suyuqliklarning hajmiy hossalari
2. Suyuqliklarning issiqlik sigimlari va ulardagi ko'chish hodisasi
3. Sirt taranglik hodisasi

SUYUQLIKLARNING TUZILISHI

Suyuqliklarda molekular gazlardagi molekularga nisbatan bir-biriga juda yaqin joylashgan. Agar gazlarda molekulararo o'zaro ta'sir, Van-der-Vaals kuchlari faqatgina past temperaturalarda va katta bosimlardagina sezilarli bo'lsa, suyuqliklarda bu kuchlar juda sezilarli va asosiy ta'sirlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Avvallari suyuqliklar o'z tuzilishiga ko'ra gazlardan farq qilmaydi, faqatgina ular gazlardan molekulararo masofalarining kichikligi va Van-der-Vaals kuchlarining qiymati bilangina farq qiladi deb hisoblanar edi. Ammo tajribalar shu narsani ko'rsatadiki, suyuqliklar o'z tuzilishi bilan gazlardan ko'ra qattiq jismlarga yaqinroq turar ekan. Masalan, suvning rentgen nurlarida tuzilishini o'rganish bo'yicha olingan tasviri, uning tuzilishi muz kristallining tuzilishi bilan deyarli bir xil ekanligini ko'rsatdi. Lekin, tasvirlar kristall tuzilish suvda muzdagidan ko'ra kuchsizroq namoyon bo'lishini ko'rsatadi. Bu shu narsaning natijasiki, suyuqlik kristallari, birinchidan juda kichik o'lchamlarga ega, ikkinchidan bu kristalchalarning tugunlaridagi suyuqlik molekulari qattiq jismlardagi kabi o'troq emas, uchinchidan bu kristalchalar vaqt o'tishi bilan fazoda o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi. Panjara tugunida joylashgan molekula molekulararo masofa tartibida ro'y beradigan tebranishlar bilangina cheklanadi va vaqti-vaqti bilan o'z joyini o'zgartirib turadi.

Molekulalarning kristall panjara tugunidagi o'troqlik vaqti suyuqlik molekularining xossalari, ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlariga, suyuqlikning zichligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi. Molekulalarning bir vaziyatdan ikkinchi vaziyatga ko'chib o'tish kattaligi molekulararo masofa tartibida, ya'ni 10^{-8} sm atrofida bo'ladi.

SIRT TARANGLIK

Suyuqlik molekulasiga uning atrofidagi molekularning tortishish kuchlari ta'sir qiladi. Agar molekula suyuqlik ichida bo'lsa, bu kuchlar o'rtacha hisobda bir-birini muvozanatlaydi. Suyuqlik sirti yaqinidagi, qalinligi molekulyar ta'sir sferasi radiusiga teng bo'lgan qatlamda turgan molekulaga ta'sir qiluvchi natijaviy kuch suyuqlik ichiga tomon yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun suyuqlik molekularini suyuqlik ichidan uning sirtiga chiqarish uchun ish bajarish talab qilinadi. Bu ish suyuqlik sirtini ortishiga olib keladi. Suyuqlik sirtini bir-birlikka izotermik ravishda orttirish uchun sarflash kerak bo'lgan ishga **sirt taranglik koeffitsiyenti** deyiladi.

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (1)$$

bu yerda ΔA - suyuqlik sirtini ΔS qadar kattalashtirish uchun bajariladigan ish.

Suyuqlikning sirti suyuqlikning qolgan qismiga nisbatan ortiqcha potensial (erkin) energiyaga ega bo'ladi. Shu sababli sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlik sirti-ning bir birligiga to'g'ri keluvchi suyuqlik sirti erkin energiyasi sifatida ham ta'riflash mumkin.

Ma'lumki, sistemaning muvozanat holatida uning energiyasi minimal bo'ladi. Buni nazarda tutadigan bo'lsak, suyuqlik muvozanat holatida minimal sirtga ega bo'lishi ravshan bo'ladi. Bu esa o'z navbatida suyuqlik sirtining kattalashishiga to'sqinlik qiladigan kuchlar mavjud ekanligini bildiradi. Bu kuchlar sirt taranglik kuchlari deb ataladi. Sirt taranglik kuchlari sirtga urinma ravishda yo'nalgan bo'ladi.

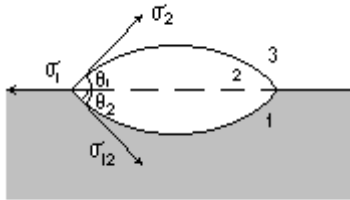
Agar suyuqlik sirtini chegaralovchi chiziqning (ajralish chizig'ining) uzunligi ℓ ga va shu chiziq bo'ylab ta'sir qiluvchi sirt taranglik kuchi f ga teng bo'lsa, u holda sirt taranglik koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida topila-di:

$$\sigma = \frac{f}{\ell} \quad (2)$$

(2) ifodadan sirt taranglik ko'effitsiyentini suyuqlik sirtiga urinma bo'ylab ta'sir qiluvchi va son jihatdan suyuqlik sirti ajralish chizig'ining uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi kuchga teng kattalidir deb ta'riflash mumkin.

IKKI MUHIT CHEGARASIDAGI MUVOZANAT SHARTLARI

Uchta muhit o'zaro chegaradosh bo'lgan holni ko'rib chiqaylik (17-rasm).



Bu rasmda ko'rsatilgandek, 2-suyuqlikning tomchisi 1-suyuqlikning sirtida joylashtirilgan. 3-muhit - bu 1 va 2 - suyuqliklar bug'larining havo bilan aralashmasi.

17-rasm

Gazsimon muhit suyuqliklarning sirt energiyalariga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi deb hisoblaylik. 2-tomchining shakli tegishli ikki muhitning tegishish sirtiga urinma bo'ylab yo'nalgan sirt taranglik kuchlari yoki tegishli sirt taranglik ko'effitsiyentlari $-\sigma_1$, σ_2 , va σ_{12} orasidagi munosabatga bog'liq bo'ladi. 2-suyuqlik muvozanatda bo'lishi uchun har uchala sirt taranglik ko'effitsiyentlarining vektor yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak:

$$\vec{\sigma}_1 + \vec{\sigma}_2 + \vec{\sigma}_{12} = 0 \quad (1)$$

(1) ifodani skalyar ko'rinishda yozsak, quyidagi tenglamani olish mumkin:

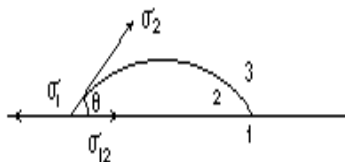
$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_2 \cdot \sigma_{12}(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

bu yerda θ_1 va θ_2 burchaklar chegaraviy burchaklar deyiladi.

Agar $\sigma_1 > \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo'lsa $\theta_1 + \theta_2 = 0$ bo'ladi va bu holda tomchi 1- suyuqlik sirtida yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bunday holda 1-suyuqlikni 2-suyuqlik tamomila ho'llaydi deb yuritiladi. Agar $\sigma_1 < \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo'lsa, u holda 2 suyuqlik $\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_{12}$ bo'lgunga qadar tortiladi. Bu holda suyuqlik yosmiqsimon shaklga ega bo'ladi.

Qattiq jism sirtida suyuqlik tomchisi ham o'zini xuddi shunga o'xshash tutadi. (18-rasm).

Bu hol uchun muvozanat sharti quyidagicha yoziladi:



$$\sigma_1 = \sigma_{12} + \sigma_2 \cos \theta \quad \text{yoki} \quad \cos \theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma_2} \quad (3)$$

18-rasm

θ burchak chegaraviy burchak deyiladi. Agar $\theta = 0$ bo'lsa, u holda suyuqlik qattiq jism sirti bo'ylab yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bu hodisa to'la ho'llash deb ataladi. $\theta = \pi$ bo'lgan hol esa qattiq jismning to'la ho'llanmasligiga tegishlidir.

Ko'pincha qisman ho'llash $\left(\theta < \frac{\pi}{2}\right)$ yoki qisman ho'llamaslik $\left(\theta > \frac{\pi}{2}\right)$ oraliq hodisalari kuzataladi.

29-MA'RUZA. SUYUQLIKLARNING EGRI SIRTIDA YUZAGA KELUVCHI KUCHLAR. KAPILLYAR HODISALAR. SUYUQLIKLARNING BUG'LANISHI VA QAYNASHI. SUYUQ ERITMALAR. IDEAL ERITMALAR. OSMOTRIK BOSIM VA UNING YUZAGA KELISH MEXANIZMI.

Reja

1. Suyuqliklarning bug'lanishi.
2. To'yingan bug'lar elastikligining temperaturaga bog'liqligi.
3. Suyuqliklarning egri sirti ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi.
4. Suyuqliklarning qaynashi.
5. Suyuqliklarning issiqlik sigimlari va ulardagi ko'chish hodisasi
6. Sirt taranglik hodisasi
7. Laplas bosimi. Kapilyar hodisasi

Tayanch tushunchalar. Bug'lanish, qaynash, To'yingan bug', solishtirma bug'lanish issiqligi, issiqlik balans

Suyuqlikning sirt qatlamida joylashgan molekularning suyuqlikdan tashqariga uchib chiqib, bug' fazasiga o'tishi **bug'lanish** deyiladi. Molekularning suyuqlik tashqarisiga chiqishi uchun ular suyuqlikda qoluvchi molekular torti-shish kuchini yengishi, ya'ni bu kuchlarga qarshi ish bajarishi kerak. Bundan tashqari modda suyuq holatdan gaz holatga o'tishda o'z hajmini o'zgartirishi uchun tashqi bosimga qarshi ham ish bajarishi kerak. Bu ishlar molekular issiqlik harakatining kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Bunday ishni bajarishga hamma molekular ham qodir bo'lavermaydi, ularning faqat yyetarlicha katta kinetik energiyaga ega bo'lgan qismigina bunday ishni bajarishi mumkin. Shuning uchun bug'lanish suyuqlikdagi tez molekular sonining kamayishiga, ya'ni uning sovishiga olib keladi. Tez bug'lanuvchan suyuqlik masalan, efir bilan ho'llangan terining tez sovishi ana shu effektning natijasidir. Demak, suyuqlikni uning temperaturasini o'zgartirmagan holda bug'lantirish uchun unga issiqlik berish kerak.

Ma'lum suyuqlik miqdorini izotermik bug'lantirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdori Q ga bug'lanishning yashirin issiqligi deyiladi. Suyuqlikning massa birligiga to'g'ri keluvchi yashirin bug'lanish issiqligi **solishtirma bug'lanish issiqligi** deb ataladi.

Bug'lanish issiqligi suyuqlik molekulari orasidagi bog'lanish kuchlarining miqdoriy tavsifidir. Bu kuchlar qancha katta bo'lsa, bug'lanishning yashirin issiqligi ham shuncha katta bo'ladi.

Suyuqlikning **qaynashi** uning butun hajmi bo'ylab bug'lanish jarayoni bo'lib, bu hodisa suyuqlikning keskin holda bug' pufakchalari hosil qilib, ularning suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilishi tarzida ro'y beradi. Suyuqlikning qaynash temperaturasi tashqi bosimga bog'liq. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin.

Faraz qilaylik: biror sababga ko'ra, suyuqlikda gaz pufakchasi paydo bo'lgan bo'lsin. Bu pufakcha darhol suyuqlikning to'yingan bug'i bilan to'ladi. Ma'lumki, to'yingan bug'ning bosimi temperaturaga bog'liq. Agar suyuqlikning temperaturasi shunday bo'lsaki, bunda pufakcha ichidagi to'yingan bug' bosimi suyuqlik ustidagi tashqi bosimdan kichik bo'lsa, u holda pufakcha kattalashmaydi. Temperatura orta borib, pufakcha ichidagi suyuqlik to'yingan bug'lari bosimi tashqi bosimga tenglashadigan qiymatiga yetganida pufakcha kattalasha boshlaydi va Arximed kuchi ta'sirida yuqoriga ko'tarilib, suyuqlik sirtida yoriladi.

Tashqi bosim kamayishi bilan qaynash harorati pasayadi, bosim ortishi bilan esa qaynash harorati ko'tariladi. Bosimnin pasayishi orqali suyuqlikning kamayishini quyudagi tajribada ko'rsatish mumkin. Stakanga suv quyib, unga termometr tushiriladi. Suvli stakanni vacuum qurilmasidagi qalpoqcha ostiga qo'yib, nasos ishga tushiriladi. Qalpoqcha ostidagi bosim etarlicha pacayganda stakandagi suv qaynay boshlaydi. Suvning energiyasi bug' hosil bo'lishiga sarf bo'lishi tufayli, uning qaynashi natijasida stakandagi suvning harorati pasayadi va nasos yaxshi ishlasa, nihoyat, suv muzlaydi.

Suyuqlikning normal atmosfera bosimidagi qaynash harorati qaynash nuqtasi deyiladi.

Qaynash jarayoni suyuqlikdagi erigan gazning mavjudligi bilan uzviy bog'liqdir. Agar

suyuqlikdan unda erigan gazni chiqarib yuborilsa, masalan, uzoq vaqt qaynatib shu suyuqlikni qaynash haroratidan yuqori haroratgacha qizdirish mumkin. Bunday suyuqliklar o'ta qizigan suyuqlik deyiladi.

Bug' hosil qiluvchi markaz vazifasini bajara oluvchi bug'ning mayda pufakchalarini hosil qiluvchi gaz pufakchalari bo'la olmaydi, chunki kichik radiusli pufakchalarda katta laplas bosimi hosil bo'lib, ularni hosil bo'lishiga to'sqinlik qiladi. Shu bilan suyuqlikning qizishi tushuntiriladi. Qachondir u qaynaganda, qaynash juda kuchli bo'ladi.

Suyuqlikning qaynash haroratigacha isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori Q_c quyidagi formuladan topiladi:

$$Q_c = C_c m (T_q - T_1)$$

Bu yerda: m-suyuqlikning massasi, C_c -uning solishtirma issiqlik sig'imi.

O'zgarmas haroratda suyuqlikni bug'ga aylanishi uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori Q_b quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Q_b = r m$$

Demak, umumiy issiqlik miqdori quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$Q = Q_c + Q_b = C_c m (T_k - T_1) + r m$$

Moddaning solishtirma bug'lanish issiqligi r tajriba orqali issiqlikning balans tenglamasi yordamida topiladi. Bu qanday bajarilishini r ni suv uchun aniqlash misolida ko'rib chiqamiz. Buning uchun T_1 haroratli suv solingan kalorimetr olamiz. Qaynatgichdan harorati $T_q=373K$ bo'lgan bug' nay orqali sovuq suvli kalorimetrga keltiriladi va bu yerda bug' kondensasiyalanadi. Bir qancha vaqt o'tgandan so'ng bug' keluvchi nay kalorimetrdan olinadi va oxirgi θ harorat o'lchanadi, so'ngra tarozida tortib suvga aylangan bug'ning massasi aniqlanadi va issiqlikning balans tenglamasi tuziladi.

Bu tajribada kalorimetr va undagi sovuq suv issiqlik oladi.

$$Q_{ol} = Q_q + Q_c = C_k m_k (\theta - T_1) + C_c m_c (\theta - T_1)$$

Kondensasiyalanganda bug' issiqlik beradi va undan hosil bo'lgan suv T_q dan θ gacha sovushda issiqlik chiqaradi:

$$Q_{ber} = r m_b + C_c m_b (T_q - \theta)$$

$$Q_{ber} = Q_{ol}$$

$$r m_b + C_c m_b (T_q - \theta) = (C_k m_k + C_c m_c) (\theta - T_1)$$

ni olamiz. Bu tenglamadan r ning son qiymati hisoblab topiladi.

Suvni bug'ga aylantirish uchun ko'p energiya sarflanadi, shuning uchun suv bug'ining sovushi va kondensasiyalanishida ham ko'p ko'p issiqlik chiqishi va katta ish bajarishi mumkin.

Qozonlarda hosil qilingan suv bug'larini maxsus qurilmalar yordamida yuqori haroratgacha qizdirib, so'ngra bug' turbinalariga yuboriladi. Bunday bug'larni quruq yoki o'ta qizigan bug'lar deyiladi. Bunda harorat bilan birga bug' bosimi ham ortadi, shu sababli o'ta qizigan bug'larni yuqori bosimli bug' ham deyiladi.

Bug'ni suyuqlikka aylantirish uchun bosimni orttirish va haroratni pasaytirish zarur. Har bir suyuqlik uchun uning bug'I orasidagi har qanday farqning yoqolishi mumkin bo'lgan harorat mavjud. Buni 1861 yilda rus olimi D.I.Mendeleyev aniqladi. U buni "absolyut qaynash harorati" deb atadi. Ingliz olimi Endryus bug'ning suyuqlikka aulanish jarayonini va aksincha bo'lgan holni turli bosimlarda tekshirdi va haqiqatda shunday harorat borligini tasdiqladi va uni kritik harorat deb atadi.

Suyuqlik bug'i bilan uning to'yingan bug'i zichligi bir xil qiymatga ega bo'lgandagi harorat moddaning kritik harorati deb ataladi.

Biror moddaning kritik haroratidagi to'yintiruvchi bug'I bosimiga kritik bosim deyiladi. U bu modda to'yintiruvchi bug'ining eng katta bosimidir.

Agar modda kritik haroratida va kritik bosimda turgan bo'lsa, uning bunday holati kritik holat deyiladi. Moddaning kritik holatda egallagan hajmi kritik hajm deyiladi. Bu hajm suyuq holatda modda massasining egallashi mumkin bo'lgan eng katta hajmi xisoblanadi. Kritik

harorat, kritik bosim va kritik hajmning bir mol modda uchun qiymatlari moddaning kritik parametrlari deyiladi.

Harorati kritik haroratdan yuqori boʻlgan gazsimon holatdagi modda gaz deyiladi. Harorati kritik haroratdan past boʻlgan gazsimon modda bugʻ deyiladi.

SIRT TARANGLIK

Suyuqlik molekulasiga uning atrofidagi molekularning tortishish kuchlari taʼsir qiladi. Agar molekula suyuqlik ichida boʻlsa, bu kuchlar oʻrtacha hisobda bir-birini muvozanatlaydi. Suyuqlik sirti yaqinidagi, qalinligi molekulyar taʼsir sferasi radiusiga teng boʻlgan qatlamda turgan molekulaga taʼsir qiluvchi natijaviy kuch suyuqlik ichiga tomon yoʻnalgan boʻladi. Shuning uchun suyuqlik molekularini suyuqlik ichidan uning sirtiga chiqarish uchun ish bajarish talab qilinadi. Bu ish suyuqlik sirtini ortishiga olib keladi. Suyuqlik sirtini bir-birlikka izotermik ravishda orttirish uchun sarflash kerak boʻlgan ishga **sirt taranglik koeffitsiyenti** deyiladi.

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (1)$$

bu yerda ΔA - suyuqlik sirtini ΔS qadar kattalashtirish uchun bajariladigan ish.

Suyuqlikning sirti suyuqlikning qolgan qismiga nisbatan ortiqcha potensial (erkin) energiyaga ega boʻladi. Shu sababli sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlik sirti-ning bir birligiga toʻgʻri keluvchi suyuqlik sirti erkin energiyasi sifatida ham taʼriflash mumkin.

Maʼlumki, sistemaning muvozanat holatida uning energiyasi minimal boʻladi. Buni nazarda tutadigan boʻlsak, suyuqlik muvozanat holatida minimal sirtga ega boʻlishi ravshan boʻladi. Bu esa oʻz navbatida suyuqlik sirtining kattalashishiga toʻsqinlik qiladigan kuchlar mavjud ekanligini bildiradi. Bu kuchlar sirt taranglik kuchlari deb ataladi. Sirt taranglik kuchlari sirtga urinma ravishda yoʻnalgan boʻladi.

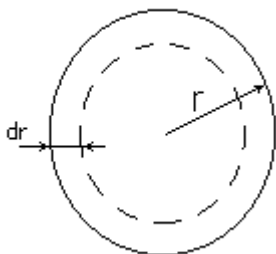
Agar suyuqlik sirtini chegaralovchi chiziqning (ajralish chizigʻining) uzunligi ℓ ga va shu chiziq boʻylab taʼsir qiluvchi sirt taranglik kuchi f ga teng boʻlsa, u holda sirt taranglik koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida topila-di:

$$\sigma = \frac{f}{\ell} \quad (2)$$

(2) ifodadan sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlik sirtiga urinma boʻylab taʼsir qiluvchi va son jihatdan suyuqlik sirti ajralish chizigʻining uzunlik birligiga toʻgʻri keluvchi kuchga teng kattalikdir deb taʼriflash mumkin.

SUYUQLIKNING EGRI SIRTIDA YUZAGA KELUVCHI BOSIM

Suyuqlik sirtining egriligi shu sirt ostida turgan suyuqlikka taʼsir qiluvchi kuchlarning paydo boʻlishiga olib keladi. Buning taʼsirida sirt ostidagi suyuqlik birmuncha siqilgan boʻladi, yaʼni u sirtga perpendikulyar va sirtning egrilik radiusi boʻylab yoʻnalgan qoʻshimcha bosim taʼsirida boʻladi.



19-rasm
Siqish ishi

Faraz qilaylik shar shaklidagi suyuqlik bu bosim taʼsirida oʻz hajmini 19-rasmda koʻrsatilgandek dV ga kamaytirgan boʻlsin. Bunda bajarilgan ish suyuqlik sirt energiyasining kamayishi hisobiga boʻladi.

$$dA = PdV \quad (1)$$

boʻladi. Sirt energiyasining kamayishi esa

$$dF = \sigma \cdot dS \quad (2)$$

ga teng. Shar hajmining va sirtining uning radiusini dr ga kamayishiga mos keluvchi oʻzgarishlari quyidagilarga teng boʻladi:

$$dS = 8\pi r dr, \quad dV = 4\pi r^2 dr \quad (3)$$

Bu qiymatlarni (1) va (2) tenglamalarga qo'yib, hamda $dA = |dF|$ ekanini nazarga olib quyidagini olamiz:

$$P4\pi^2 dr = \sigma 8\pi r dr \quad (4)$$

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

$$P = \frac{2\sigma}{r} \quad (5)$$

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

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

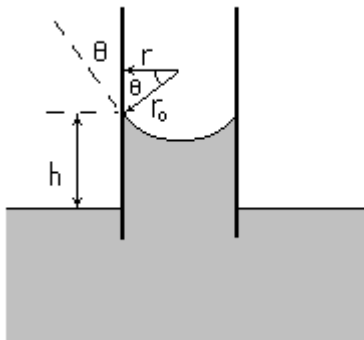
Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bog'liq bo'lgan qo'shimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (7)$$

Bu yerdagi 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.

Kapillyarlik bilan bog'liq bo'lgan eng xarakterli hodisalardan biri suyuqlikning kapillyar nayda ko'tarilishidir (20-rasm).



20-rasm

Bu rasmda suyuqlik keng idishga tushirilgan ingichka naycha tasvirlangan. Bundagi r - naychaning radiusi, r_0 - suyuqlik sirtining egrilik radiusi.

Sirtning egriligidan hosil bo'lgan bosim tufayli naychadagi suyuqlik yuqoriga qarab yo'nalgan

$$P = \frac{2\sigma}{r_0} \quad (8)$$

bosim ta'siriga duch keladi. Natijada suyuqlik nay bo'ylab toki bu bosim suyuqlik ustunining ρgh gidrostatik bosimi bilan muvozanatga kelguncha ko'tariladi. Quyidagi

$$\rho gh = \frac{2\sigma \cos\theta}{r} \quad (9)$$

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

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho gr} \quad (10)$$

Agar chegaraviy burchak θ o'tmas bo'lsa, ya'ni suyuqlik kapillyarni ho'llamasa, h kattalik manfiy bo'ladi. Chunki, Laplas bosimi pastga qarab yo'nalgan bo'ladi.

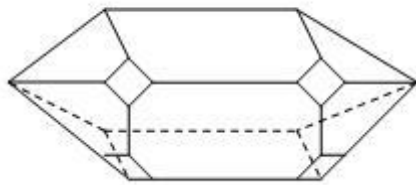
30-MA'RUZA. QATTIQ JISM. KRISTALL PANJARA. KRISTALLOGRAFIK KOORDINATA TIZIMI.

Reja

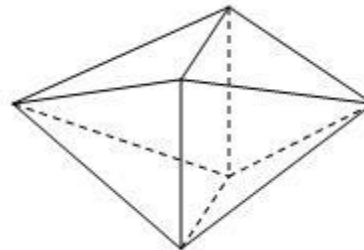
1. Qattiq jismlar haqida tushuncha.
2. Kristallarning tuzilishi. Kristall panjara.
3. Kristall panjaraning energiyasi.
4. Kristallarning klassifikatsiyasi
5. Qattiq jismlarning fizik va mexanik xossalari
6. Xulosa

1. Qattiq jismlar bir-biridan o'zlarining fizik xossalari bilan keskin farqlanadigan ikki turga, Ya'ni kristall va amorf jismlarga ajraladi. Kristall holatdagi moddaning asosiy alomati unda anizotropiyaning mavjud bo'lishidir. Anizotropik deb, bir jinsli jism xossalarining turli yo'nalishlarda turlicha bo'lishiga aytiladi. Masalan kristall jismning issiqlikdan kengayish koeffitsienti turli yo'nalishlar uchun turlicha bo'ladi; turli yo'nalishlarda kristallarning mexanik, optik va elektr xossalari ham turlichadir. Kristallning eng xarakterli tashqi alomati uning muntazam geometrik shaklda bo'lishidir. Deraza oynasida, suv muzlaganda muz kristallari muntazam geometrik naqshlar hosil qilishni va qor uchqunining muntazam shaklga ega bo'lishini hamma biladi. Kristall tekis yoqlar bilan chegaralangan bo'lib, bu yoqlar qirralarda va uchlarda uchrashadi.

Odatda, yoqlar bir-biriga nisbatan simmetrik ravishda joylashadi. Kvars, masalan olti yoqli piramidalar bilan tugallanuvchi olti yoqli prizmadan iborat bo'lgan kristallar hosil qiladi (23.1-rasm)



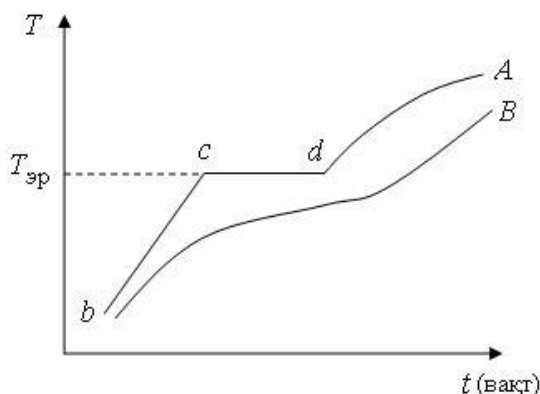
23.1-rasm



23.2-rasm

Achchiqtosh oktaedrlar shaklida (2-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. Amorf jismlar singanda esa hamma vaqt egri bugri sirtli ushoqlar hosil bo'ladi. Bir bo'lak shisha sindirilsa, hosil bo'lgan bo'laklar tamomila nomuntazam tasodifiy shakllarga ega bo'ladi. 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.

233-rasmdagi A chiziq tekis isitish bilan eritilayotgan kristall jism temperaturasining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini ifodalaydi. CHiziqning VS qismi qattiq holatdagi kristallning isish prosessini tasvirlaydi. Erish temperaturasi T_e ga etganda jismning isishi to'xtaydi, chunki berilayotgan issiqlikning hammasi jismning qattiq holatidan suyuq holatga o'tishi (erish issiqligi) uchun sarflanadi. d nuqtada jismning to'la suyuq holatga o'tgan payti mos keladi. CHiziqning yuqoriga ko'tariluvchi oxirgi qismi suyuqlikning isishiga tegishlidir.

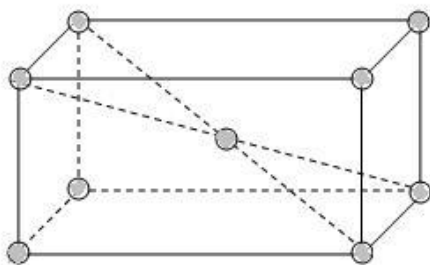


23.3-rasm. Kristall qattiq jismni (A) va amorf qattiq jismni (B) eritishda temperaturaning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi.

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 temperaturasining 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.

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

Zarralar joylashgan nuqta, aniqrog'i atrofida zarralar tebranma harakat qiladigan nuqta kristall panjaraning tuguni deyiladi. Kveruning (tog' xrustalining) tabiiy kristallari, osh tuzining bo'laklari va boshqalar ana shunday kristallardandir (23.4-rasm).



23.4-rasm

Bunday yakka kristallar monokristallar deyiladi. Ko'pchilik qattiq jismlar esa mayda kristall tuzilishiga ega bo'ladi. Tuzlarning kukunlari ayrim mikroskopik kristallarning to'plamidan iborat bo'ladi.

Barcha metallar polikristall tuzilishiga ega. Metallning ayrim kristallchalari bir-birining yog'ida molekulyar kuchlar tufayli ushlanib turadi va bunday mayda kristallarning molekulasi bevosita qaraganda tutash bo'lib ko'rinuvchi metall parchasini hosil qiladi.

Metallning ayrim kristallchalari anizotrop bo'lsa ham, ularning tartibsiz joylashganliklari tufayli metall parchasi anizotrop bo'lmaydi. Metallarning polikristall tuzilishini metallning silliqlangan sirtini tekshirish orqali bilish mumkin; ba'zan kristallar ancha yirik bo'lib, ularni ko'z bilan ko'rish mumkin, ba'zan esa ularni faqat mikroskop yordamida ko'rish mumkin.

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 709 XVIII arsning 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 navbatma-navbat 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.

23.4-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.

1-eng kam simmetrik triklin panjara - panjarada tugunlar qirralarining uzunligi ixtiyoriy va ular orasidagi burchaklar ixtiyoriy bo'lgan parallelepiped uchlarida joylashgan.

2-oddiy monoklin;

3-yoqlari markazlashgan monoklin;

4-oddiy rombik;

5-asosi markazlashgan rombik;

6-hajmiy markazlashgan rombik;

7-yoqlari markazlashgan rombik panjaralar.

Geksagonal panjara 8 ta tugunlar muntazam olti yoqli prizmalarning uchlar va ularning oltiburchakli asoslari markazlarida joylashgan. Undan keyin Romboedrik Brave panjarasi joylashadi, so'ng tetragonal oddiy va hajmi markazlashgan tetragonal panjaralar bo'ladi.

Zarralar bir xil kristall panjara hosil qiladigan qattiq jismlar manokristallar deyiladi. Monokristallarning kristall tuzilishi ularning tashqi shaklida ham namoyon bo'ladi. Katta kristallar tabiatda juda kam uchraydi. Lekin sanoatda, fan va texnikada bunday kristallarga ehtiyoj juda katta. Ular radiotexnikada, optikada, ayniqsa zamonaviy elektron hisoblash vositalarini ishlab chiqarishda muhim ahamiyatga ega. Misol uchun yoqut kristalli lazer nurlarini hosil qilishda, segneta tuzi kristallari ultratovush tebranishlarini hosil qilishda foydalaniladi.

Aynan shuning uchun ham kristall sun'iy ravishda, hatto kosmik kemalarda ham hosil qilinadi. Hozir shu yo'l bilan kvars, olmos, yoqut va boshqa noyob kristallar ham hosil qilinmoqda. Lekin buning uchun shart-sharoitlar zarur. Masalan, olmos kristalini hosil qilish uchun 10^4 Mpa bosim va 200°S temperatura zarur.

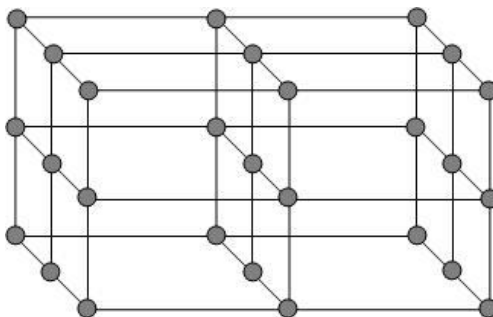
Qattiq jismlarning aksariyati polikristallardir. Ular betartib joylashgan kichik kristalchalar (kristallitlar (kichik monokristallardan tashkil topgan bo'ladi. Har bir monokristalga anizotrop, lekin kristallchalar betartib joylashgan bo'lganligi uchun Polikristall jism izotrop bo'ladi. Masalan suv besh xil kristall tuzilishga ega bo'lgan muz hosil qiladi. Tarkibi bir xil moddaning turli fizik xossalarga ega bo'lgan har xil kristall tuzilishini hosil qilishi polimorfizm deyiladi.

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

$$E_p = -\frac{C'}{r^{k_1}} + \frac{C''}{r^{k_2}} \quad (23.1)$$

bu formuladagi birinchi had $-\frac{C'}{r^{k_1}}$ tortish kuchlariga tegishli had, $+\frac{C''}{r^{k_2}}$ esa itarishish kuchlariga tegishli. 23.5-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. $k_2 > k_1$, bo'lganda, r ning kamayishi bilan itarishish kuchlari tortishish kuchlariga qaraganda tezroq o'sadi, kristallning siqilishga qarshilik ko'rsatishiga sabab ana shudir.



23.5-rasm. Kristall ion panjara E_r potensial energiyasining ionlar orasidagi r masofaga bog'liq.

Potensial o'raning eng chuqur joyi $r=r_0$ qiymatga to'g'ri keladi; r_0 -kattalik kristallning tashqi kuchlari ta'sirida bo'lmagan zarralari orasidagi masofani bildiradi. Har bir zarra o'z muvozanat holati atrofida, potensial o'radan chiqib ketmagan holda, bir oz tebranib turishi mumkin.

Kristall panjaralar nazariyasini Born va boshqa fiziklar rivojlantirgan. Born (23.1) formuladagi k_1 va k_2 daraja ko'rsatkichlar ma'lum bo'lganda, kristallarning elastiklik xossalarini, kristallanish energiyasini, uning oltin xossalarini va boshqalarini hisoblash mumkinligini ko'rsatgan. Tajriba ma'lumotlari (23.1) ni mos keltirish uchun, geteropolyar panjaralar uchun $k_1=1$ va $k_2=9$ deb olish kerak; gomeopolyar panjaralar uchun k_2 katta qiymatlarga ega bo'ladi.

NaCl tipdagi eng sodda kubik kristall panjaraning energiyasini hisoblash, sxematik ravishda, quyidagicha bajarilishi mumkin. Bir-biridan r_0 uzoqlikda turgan $-\ell$ va $+\ell$ zaryadlarga ega bo'lgan ikkita xolis ionning potensial energiyasi:

$$E'_p = -\frac{e^2}{r_0} \quad (23.2)$$

Panjara ichidagi ikki qo'shni ionning potensial energiyasi, quyidagi ikki sababga ko'ra, bu miqdordan katta bo'ladi:

Har bir ionga uning eng yaqin qo'shnisidan tashqari, panjarasining barcha boshqa ionlari ham ta'sir qiladi;

Ionlar bir-biriga ta'sir qilib, itarishish kuchlarini vujudga keltiruvchi o'zaro qutblanish hosil qiladi.

[(23.1) formuladagi ikkinchi had].

Hisoblashlarning ko'rsatishiga NaCl tipidagi kristall uchun (23.2) formula quyidagi ifoda bilan almashitirilishi kerak:

$$E'_p = -0,2582 \frac{e^2}{r_0} \quad (23.3)$$

(23.3) 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.

S'hu 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 bir-biridan cheksiz katta masofaga uzoqlashtirish uchun $6N$ bog'lanishini uzish kerak. Bundan panjaraning bir molga mos keluvchi to'la potensial energiyasi

$$E_p = -0,2582 \frac{e^2}{r_0} \cdot GN \quad (23.4)$$

Kubik panjaradagi qo'shni ionlar orasidagi r_0 masofani quyidagicha aniqlaymiz; agar tekshirilayotgan kristallning zichligi ρ , molekulyar 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 $\mathcal{G} = r_0^3$ hajmini esa V_0 bir moldagi yacheykalar soniga bo'lib topamiz; yacheykalarning soni bir moldagi ionlar soniga, Ya'ni $2N$ ga teng bo'ladi.

S'ning 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 (23.4) ifodasiga qo'yamiz:

$$E_p = -0,2582 \cdot G \cdot e^2 \sqrt[3]{\frac{2\rho N^4}{\mu}} \quad (23.5)$$

e va N konstantalar bo'lgani uchun, oxirgi ifoda

$$E_p = -K_3 \sqrt[3]{\frac{\rho}{\mu}} \quad (23.6)$$

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 panjaralari uchun ham (23.6) ga o'xshash formula kelib chiqadi, faqat K konstantaning son qiymati boshqacha bo'ladi.

4. Kristall panjaralarni elementar yacheykalari, burchaklari, qismlarini joylanishiga nisbatan 7 sistemali klassifikasiyaga bo'linadi.

1. Triklin-tomonlari va burchaklarini bog'lanishi $a \neq b \neq c; \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
2. Monoklin - $a \neq b \neq c; \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
3. Rombik - $a \neq b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4. Romboodrik - $a = b = c; \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
5. Geksagonal - $a = b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
6. Totragonal - $a = b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
7. Kubik - $a = b = c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Bu klassifikasiyadagi kristallar panjaralarini tuzilishiga qarab 14 tipga bo'linadi va ularni Brave panjaralari deyiladi.

Kristallarni simmetriya nazariyasini o'rgangan rus kristallografi A.V.Gadolin kristallar 32 simmetriya sinfiga bo'linadi. YAnada murakkab klassifikasiyaga ega bo'lgan kristallar fazoviy gruppali simmetrik panjarali kristallari deyiladi. Rus kristallografi E.S.Fedorov panjaralar simmetriyani fazoviy gruppasini o'rganib, 230 simmetriyali fazoviy gruppaga ega kristallar mavjudligini aniqladi. Bunday simmetrik panjarali fazoviy gruppa kristallariga Fedorov kristallar gruppasi deyiladi. Kristallarni simmetrik fazoviy gruppalarini senizoparni xossalari bilan o'rganib, murakkab sistemali kristallar klassifikasiyasini rus fizigi A.V.S'hubnisi o'rgandi.

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.

Fizik - bu usulda panjaraning tugunlarida joylashgan zarralarning tabiati va ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining xarakteriga e'tibor beriladi. Va aynan shu xossalarga asosan kristallar to'rt turga bo'linadi: ionli, atomli, metalli, molekullari.

Ionli kristallar - Kristall panjaraning tugunlarida qarama-qarshi zaryadli ionlar navbat bilan joylashgan bo'ladi. Ionlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi, asosan, elektrostantik xarakterga

ega. Ionli panjara osh tuzi NaCl vasseziy xlor CsCl misol bo'ladi.

Atomli kristallar - Kristall panjaraning tugunlarida kvant-mexanik tabiatdagi kuchlar tutib turadigan neytral atomlar joylashgan. Ular o'rtasida elektr xarakteriga ega bog'lanish mavjud. Atomli bog'lanishga olmos, grafit, germaniy va kremniy misol bo'la oladi.

Metall kristallar - Kristall panjaraning tugunlarida metallning musbat ionlari joylashgan bo'ladi. Kristall panjara hosil bo'lishida atomlar bilan kuchsiz bog'langan valentli elektronlar atomlardan ajraladi va elektron gazini hosil qiladi. Natijada metallning musbat ionlar o'rtasida xarakatlanadigan erkin elektronlar vujudga keladi va metallarining elektr o'tkazuvchanligini ta'minlaydi. Metall kristallga ko'pchilik metallar misol bo'ladi.

Molekulali kristallar - Kristall panjaraning tugunlarida ma'lum tartibda yo'naltirilgan molekulalar joylashgan bo'ladi. Ular orasida molekulalar o'zaro ta'siriga xos bo'lgan tortishish kuchlari mavjud bo'ladi. Molekulali kristallarga naftalin, parafin, quruq muz (SO_2), muz va hokozalar kiradi.

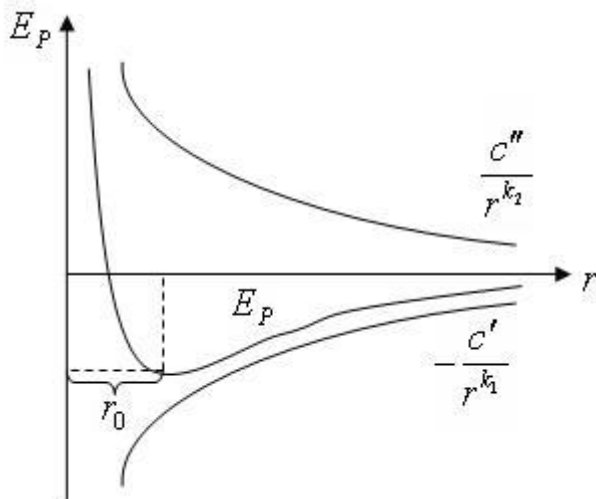
Real kristallarning uncha katta bo'lmagan bulagigina ideal tuzilishga ega bulishi mumkin. Boshqa qismlarda esa panjara tugunlarida zarralar joylashuvining batartibligi buziladi va kristall panjaraning defektlari deyiladi. Kristallardagi defektlar (kamchilik, nuqson) ularning fizik, mexanik xossalariga katta ta'sir ko'rsatadi.

Suyuk kristallar - ba'zi organik moddalarning shunday holati mavjudki, ular garchi suyuqliklarga xos bo'lgan oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lsalar-da, lekin kristallarga xos bo'lgan molekulalarning joylashuvidagi ma'lum batartiblik va ba'zi fizik xossalari bo'yicha anizotropik xususiyatlarga egadir.

Suyuq kristallar ma'lumotlarni qayta ishlash va tasvirlash, harfi-sonli ekranlar, Ya'ni elektron hisoblash mashinalari, elektron soatlar, mikrokalkulyatorlar, reklama shchitlarida ishlatiladi. YUppqa ekranli televizorlar va monitorlarda ham suyuq kristallardan foydalaniladi. Ularning tibbiyotda qo'llaniladigan nozik asboblarda, nazorat qurilmalari qo'llanilishi mumkin. 5. Monokristallardagi siqilish, cho'zilish, buralish, egilish deformasiyalari, kristall panjaralarning mavjudligi nuqtai nazaridan (mexanik xossalari asosida) osongina tushuntirish mumkin.

Kristall panjaraning muvozanati panjarani tashkil qiluvchi zarralar (ionlar va atomlar) orasidagi tortishish va itarishish kuchlarining o'zaro kompensasiyalashib turishidan kelib chiqadi. Masalan, ion panjarada, kristall siqilganda qo'shni ionlar orasidagi r_0 masofa qisqaradi, itarishi kuchlari tortishish kuchlaridan katta bo'lib qoladi. Buning natijasida, kristallni siqayotgan tashqi kuchga aks ta'sir qiluvchi itarishish yig'indi kuchi vujudga keladi. Ionlar muvozanat holatidan qancha ko'p chiqarilgan bo'lsa, Ya'ni deformasiya qancha ko'p bo'lsa, itarishish kuchi ham shuncha ko'p bo'ladi. Tashqi kuchning ta'siri to'xtasa, ionlar o'zlarining muvozanat holatlariga qaytadi, panjara dastlabki ko'rinishga keladi. Bu kristalning deformasiya yo'qoldi, demakdir. Kristall cho'zilganda, burilganda va egilganda ham xuddi shuning kabi, qo'shni ionlar orasidagi r_0 masofa kattalashadi, tortishish kuchlari itarishish kuchlaridan katta bo'ladi, kristal butunligiga tashqi kuchga qarshilik ko'rsatadi.

Siljish deformasiyasi vaqtida panjara qiyshayadi. Agar panjara eng sodda kub ion panjaradan iborat bo'lsa, panjaraning har bir elementar musbat (yacheykasi) kub shakldan qiyshiq burchakli parallelepipedga aylanadi, as-diognal qisqarib, va diognal uzayadi.



23.6-rasm. Siljish deformatsiyasida kristall panjaraning qiyshayishi

Natijada a va s ionlar orasida itarishish kuchlari b va d ionlar orasida tortishish kuchlari vujudga keladi. Panjara o'zining dastlabki shaklini tiklashga intiladi, bu esa elastik siljish deformatsiyasining vujudga kelishiga sabab bo'ladi.

Har qanday qattiq jism tashqi kuchlar ta'sirida deformatsiyalanadi, Ya'ni o'z shaklini o'zgartiradi. Masalan, cho'zuvchi kuch ta'sirida uzayuvchi prujina siquvchi kuch ta'sirida qisqaradi.

Gun kashf qilgan qonunga ko'ra, deformatsiyaning ΔX kattaligi ta'sir qiluvchi f kuchga proporsionadir:

$$\Delta X = Kf \quad (23.7)$$

bunda K-berilgan qattiq jismning ko'zatilayotgan tur deformatsiyasi uchun o'zgarimas kattalikdir.

Eng sodda deformatsiyalardan birini, Ya'ni bo'ylama cho'zilishi yoki bir tomondama siqilishini ko'raylik.

Uzunligi Lga, ko'ndalang kesimining yuzi S ga teng bo'lgan bir jinsli sterjenni qaraylik. Bu sterjenning uchlariga f_n kuchlar ta'sir qilsa, sterjenning uzunligi ΔL miqdorga o'zgaradi.

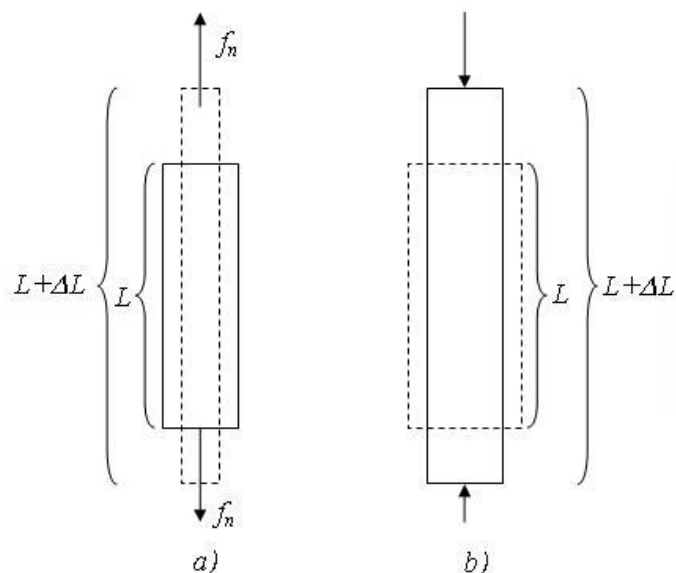
Cho'zuvchi kuchlari musbat deb hisoblaymiz; bu holda ΔL ham musbat bo'ladi (23.7-a rasm), Ya'ni sterjen uzayadi. Siquvchi kuchlari manfiy deb hisoblaymiz; bu holda ΔL ham manfiy bo'ladi (23.7-b rasm), Ya'ni sterjen bir tomonlama siquvchi kuchlar ta'siridan bo'lsa, uning L-uzunligi kamayadi. Demak f kuch ta'sirida qattiq jism deformatsiyani uzunligini nisbiy o'zgarishi $\Delta L/L$ -muhimdir.

S'huningdek, bu holda $\frac{f_n}{S} = P$ kattalikni kuchlanish deyiladi. Natijada

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

yoki

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha P_n \quad (23.8)$$



23.7-rasm. Cho‘zilish (a) va siqilish (b) deformatsiyalari.

bu erda koeffitsient α —elastiklik koeffitsienti deyiladi. (23.8) formuladan $E = \frac{1}{\alpha}$ kattalikka esa elastiklik moduli yoki YUng moduli deyiladi. YUng moduli E ni (23.8) formulaga qo‘yamiz:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \cdot P_n \quad (23.9)$$

(23.8) va (23.9) formulalardan:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L}{P_n}, \quad E = \frac{P_n}{\Delta L / L} \quad (23.10)$$

ko‘rinadiki elastiklik koeffitsienti α_1 – sterjenni nisbiy uzayishiga bog‘liq ekan. SHuningdek uzunligi L_0 bo‘lgan sterjenga R_n kuchlanish ta‘sir ilaypti deylik, u holda sterjenning yangi uzunligi

$$L = L_0 + \Delta L$$

teng bo‘ladi. (23.8) formulaga asosan $\Delta L = \alpha L_0 P_n$ va sterjenning Ya‘ni uzunligi

$$L = L_0 (1 + \alpha P_n) \quad (23.11)$$

demak, kuchlanish R_n ga chiziqli bog‘lanishda ekan. Sterjenga ta‘sir etuvchi kuch:

$$f_n = \frac{E \cdot S}{L} \cdot \Delta L \quad (23.12)$$

ta‘sirida ΔL sterjen uzunligi o‘zgarishi natijasida A-ish bajariladi. Agar sterjenga ta‘sir etuvchi kuchni o‘rtacha f_n bilan belgilasak:

$$A = f_n \cdot \Delta L \quad (23.13)$$

yoki (23.13) formulaga (23.12) ni qo‘ysak

$$A = \frac{1}{2} \frac{ES}{L} \cdot \Delta L^2 \quad (23.14)$$

tenglik o‘rinli bo‘ladi. Bu ish elastik deformatsiyalangan sterjenda potensial energiya hosil qilish uchun sarflanadi

$$E_p = \frac{1}{2} \left(\frac{ES}{L} \right) \Delta L^2 \quad (23.14)$$

Demak, elastik deformatsiyalangan sterjenning potensial energiyasi deformatsiyaning ΔL^2 ga proporsional ekan. Qattiq jismning siljish deformatsiyasiga keltiruvchi buralish deformatsiyasini qaraylik. L-uzunlikdagi va r radiusli doiraviy silindr shakldagi sterjenni qaraylik. Buralish deformatsiyasi sterjenning yuqori kesimi qo‘zg‘almas qilib mahkamlangan va pastki kesimiga

esa sterjenni burovchi M kuch moment ta'sir qilsin. Pastki kesimini biron bir radiusda $OA = \rho$ kesmani olib qaraymiz.

Burovchi moment ta'sirida OA kesma φ burchakka buraladi va OA' vaziyatni egallaydi. φ/L -kattalik nisbiy deformatsiya bo'ladi, Ya' ni sterjen uzunligi birligiga to'g'ri keladigan burilish burchagi nisbiy deformatsiyani ifodalaydi. Elastik deformatsiya chegarasida bu φ/L -kattalik burovchi moment M -ga proporsionaldir.

$$\frac{\varphi}{L} = c M \quad (23.15)$$

Bu erda s -berilgan sterjen uchun o'zgarimas kattalikdir: sterjen buralganda uning pastki asosi yuqori asosiga nisbatan siljiydi; VA -to'g'ri chiziq burilib, VA' vaziyatni egallaydi, ψ burchak siljish burchagi bo'ladi. Bizga ma'lumki, qattiq jismning siljish moduli N e'tiborga olib ψ siljish burchagi nisbiy siljishni xarakterlaydi; Ya' ni

$$\psi = \frac{1}{N} \cdot P_t \quad (23.16)$$

bunda R_t – sirtning A' nuqta yaqinidagi ds elementiga ta'sir qiluvchi urinma kuch, N -siljish moduli.

Demak,

$$\psi = \frac{AA'}{L} = \frac{\varphi \cdot \rho}{L} \quad (23.17)$$

bundan (23.16) ga asosan:

$$P_t = N\psi = N \frac{\varphi \cdot \rho}{L} \quad (23.18)$$

shuningdek 8-rasmda φ -burilish burchagi,

$$\varphi = \frac{2}{\pi N} \cdot \frac{L}{r^4} \cdot M \quad (23.19)$$

tenglik orqali aniqlanadi (23.19) va (23.15) formulalarning taqqoslab:

$$C = \frac{2}{\pi N} \cdot \frac{1}{r^4} \quad (23.20)$$

kuch momenti M ni (23.19) formuladan:

$$M = \frac{\pi N}{2} \cdot \frac{r^4}{L} \cdot \varphi \quad (23.21)$$

topamiz. Demak kristall panjaralar nazariyasi kristallarning mustahkamligini hisoblash imkonini beradi.

IV. Tayanch tushunchalar.

Kristallaning anizotropi, monokristallar, polikristallar, amorf jismlar, polimerlar va ularning xossalari, defektlar, suyuq kristallar va suyuq kristallarning qo'llanilishi, qattiq jismlarning deformatsiyasi, deformatsiya va qattiq jismning tuzilishi, materialning mustahkamligi cho'zilish, siljish, buralish deformatsiyalari, moddalarning murtligi va qattiqligi kristall panjaralarni tuzilishi.

V. Mavzu yuzasidan savollar.

1. Qattiq jismlarning xossalari, turlarini tushuntiring?
2. Kristall jismlarning anizotropi va izotropini aytib bering?
3. Kristall panjara va tugunlarni mohiyatini tushuntiring?
4. Kristall jismlarning turlari, xususan monokristallar deb qanday jismlarga aytiladi?
5. Polikristallar deb qanday kristallarga aytiladi?
6. Kristallar necha sistemaga bo'linadi va ularni aytib bering.
7. Kristal panjaralarning energiyasini mohiyatini tushuntiring?
8. Amorf jismlar qanday jismlar, misollar keltiring?
9. Kristallarni klassifikatsiyasi, molekulari kristallar, suyuq kristallar, ionli kristallar, atomli kristallar va metall kristallar haqida tushuncha bering?
10. Polikristallarning izotop bo'lishi, polimorfizm deb nimaga aytiladi?

30-MAVZU: QATTIQ JISMLARNING ISSIQLIK XOSSALARI. DYULON-PTI QONUNI. EYNSHTEYN-DEBAY NAZARIYASI.

Reja

1. Qattiq jismlardagi issiqlik harakati.
2. Qattiq jismning issiqlikdan kengayishi.
3. Qattiq jismlarning issiqlik sig'imi.
4. Qattiq jismlarning erishi va bug'lanishi.
5. Gazlarning qattiq jismlar tomonidan adsorbsiya va absorbsiya qilinishi.
6. Xulosa

Kristall

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

Suyuqliklarda esa molekularlar o'zining tartibsiz harakati tufayli qo'shni molekularlar 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 273 K temperaturadagi uzunligini L_0 ga teng deb olib, uning ΔT temperaturagacha ($\Delta T = T - T_0$) qizdirgandagi ΔL uzayishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (24.1)$$

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

$$L_T = L_0 + \Delta L = L_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (24.2)$$

Ya'ni qattiq jismning uzunligi temperatura bilan chiziqli bog'lanishda o'sadi.

Qattiq jismlar uchun chiziqli kengayish koeffitsienti kichik bo'lib, ular 10^{-5} va 10^{-6} grad⁻¹ ga yaqin kattalik atrofida bo'ladi. Agar (24.2) dan α ni aniqlasak

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \quad (24.3)$$

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

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K \cdot m} = 1K^{-1}.$$

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 olsak,

$$V = V_0(1 + 3\alpha \Delta T)$$

bo'ladi. 3α ni β orqali belgilasak,

$$V = V_0(1 + \beta \Delta T) \quad (24.4)$$

Bu erdagi kattalik β qattiq jismning issiqlikdan haymiy kengayish koeffitsienti deyiladi.

Anizotron kristallarda chiziqli kengayish koeffisienti α turli yoʻnalishlar uchun turlicha boʻladi. Natijada kristall kengaygandan soʻng, oʻziga oʻxshash boʻlmay qoladi: kristall oʻz shaklini oʻzgartiradi. Ammo kristallning toʻgʻri chiziqli issiqlikdan kengayishi, toʻgʻri chiziqlicha qolaveradi. Bu yoʻnalishlar kristallografik oʻqlar deyiladi. Issiqlikdan kengayish koeffisienti α ning mana shu yoʻnalishlar boʻyicha olingan qiymatlari bosh qiymatlar deyiladi. Umumiy holda kristallar uchta shunday oʻqqa va issiqlikdan chiziqli kengayishning uchta bosh koeffisienti α , α_2 va α_3 ga egadir.

Kristallning hajmiy kengayish koeffisienti taqriban chiziqli kengayishning bosh koeffisientlari yigʻindisiga teng. Izotrop jism uchun $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ va bu holda $\beta = 3\alpha$ ga teng boʻladi.

Qattiq jismning ichki energiyasi jismni tashkil qiluvchi zarralarning zapas tebranish energiyasidan va shuningdek, ularning oʻzaro potensial energiyasidan iboratdir, Yaʼni $W = W_c = W_p$ ga teng boʻladi. Kristall panjarani tashkil qiluvchi zarralar (atomlar va ionlar) umuman aytganda, erkin boʻlmaydi, chunki ular orasida anchagina oʻzaro taʼsir kuchlari boʻladi. SHuning uchun zarralarning tebranishlarini bogʻlangan tebranishlar deb qarash kerak; butun panjarada turli chastotali tebranishlar vujudga keladi. SHu tebranishlarning energiyasi nazarga olinishi kerak.

Har bir zarra muvozanat vaziyat atrofida tebranma harakat qiladi. Zarra tebranishining oʻrtacha energiyasini aniqlash uchun, zarra ham kinetik, ham potensial energiya zapasiga ega boʻlishini eʼtiborga olish kerak.

Har bir zarra muvozanat vaziyat atrofida uch yoʻnalishda tebranishini eʼtiborga olinsa, zarraning erkinlik darajasi $i=3$ ga teng boʻladi. SHuning uchun oʻrtacha kinetik energiya

$$\overline{W}_k = \frac{i}{2} kT = \frac{3}{2} kT$$

teng boʻladi. Bitta zarrani oʻrtacha energiyasining toʻla qiymati

$$\overline{W} = 2\overline{W}_k = 3kT$$

Bir mol qattiq jismning toʻla ichki energiyasi U ni topish uchun, bir zarraning oʻrtacha energiyasini bir molda boʻlgan erkin tebranuvchi zarralar soniga koʻpaytirish kerak

$$U = \overline{W} \cdot N = 3NkT = 3N \frac{R}{N} \cdot T = 3RT \quad (24.5)$$

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

Issiqlikdan kengayish koeffisienti kichik boʻlgan qattiq va oʻzgarmas hajmdagi va oʻzgarmas bosimdagi issiqlik sigʻimlari amalda bir-biridan farq qilmaydi. Hajm oʻzgarmas boʻlganda issiqlik berilsa, bu issiqlikning hammasi ichki energiyani ortishiga sarf boʻladi. SHuning uchun oʻzgarmas hajmdagi atomning issiqlik sigʻimi quyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

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

Yaʼni barcha ximiyaviy sodda kristall qattiq jismlarning atom issiqlik sigʻimi etarli darajada yuqori temperaturada 6 kal/Kmol ga tengdir. Bu xulosa Dyulong va Pti qonuni deb yuritiladi.

Dyulong va Ptilarning oʻzlari bu qonunni uy temperaturasi sharoitida bir qancha qattiq jismlar uchun olingan empirik maʼlumotga asosanib kashf etganlar. *Al*-alyuminiy, *Fe*-temir, *Au*-oltin, *Cd*-kadmiy va shu kabi moddalar uchun $S=6$ kal/Kmol ga yaqin, Yaʼni ular uy temperaturasida atomlar amalda bir-biridan mustaqil ravishda tebranishi uchun etarlidir: bu jismlar uchun Dyulong va Pti qonuni bajariladi. Olmos, kremniy va Bor uchun uy temperaturasi atom issiqlik sigʻimlari 6 kal/Kmol dan ancha kichik.

Ximiyaviy murakkab moddalarning koʻpchilik kristallari ion xarakteridagi kristallar boʻladi. Masalan, gazsimon natriy xlorning bir molidagi NaCl molekularining soni Avagadro soni N ga teng boʻladi. Osh tuzi kristalida esa panjaraning tugunlarida joylashgan Na^+ va Cl^- ionlar boʻlib, ularning umumiy soni $2N$ ga teng boʻladi. Kristall osh tuzining molyar issiqlik sigʻimi

$$C = 2 \frac{i}{2} k \cdot 2N = 6kN = 6R$$

ga yoki taqriban 12 kal/K·mol ga teng bo‘lishini topamiz. SHuningdek barcha boshqa ikki atomli birikmalarning ham qattiq holatdagi molyar issiqlik sig‘imi taqriban 12 kal/K·mol ga teng bo‘lishi kerakligi kelib chiqadi. Uch atomli birikmalarning molyar issiqlik sig‘imi, taqriban, 18kal/K·mol ga, to‘rt atomli birikmalarning molyar issiqlik sig‘imi taxminan, 24kal/K·mol ga teng bo‘lishi kerak.

Bu xulosa empirik yo‘l bilan aniqlangan Joul va Kopp qonuniga mos keladi. Bu qonunga ko‘ra, qattiq holatdagi birikmalarning molyar issiqlik sig‘imi bu birikmalar tarkibiga kiruvchi elementlar atom issiqlik sig‘imlarning yig‘indisiga teng. Temperatura absolyut nolga intilganda barcha qattiq jismlarning issiqlik sig‘imi nolga intiladi. Qattiq jism issiqlik sig‘imining juda past temperaturalarda o‘zgarish faqat kvant mexanikasi asosidagina tushuntirilishi mumkin.

Uy temperaturasida ($T \approx 300\text{K}$) qattiq jismning issiqlik sig‘imini klassik usulda hisoblash mumkin. – 200 °S ga yaqin temperaturalarda esa, issiqlik sig‘imini kvant nazariyasi asosida hisoblash kerak bo‘ladi. Qattiq jismlar issiqlik sig‘imi kvant nazariyasining asoslarini Eynshteyn qurib bergan edi. So‘ng Debay panjarani tashkil qiluvchi zarralarning past temperaturalardagi o‘zaro ta‘siri katta rol o‘ynashini e‘tiborga oldi. Juda past temperaturalarda qattiq jismlarning issiqlik sig‘imi absolyut temperaturaning uchinchi darajasiga proporsional bo‘lib o‘zgaradi.

Rus fizigi L.I.Mandelstam kristallarda elastik issiqlik to‘lqinlarining mavjud bo‘lishi kristalldan sochiluvchi yorug‘likning xarakteriga ta‘sir qilishi mumkinligini ko‘rsatdi. Bu hodisani rus fizigi E.F.Gross tajribada kuzatdi va qattiq jismlarda elastik issiqlik tebranishlarning mavjud bo‘lishini tajribalar asosida tasdiqladi.

Agar modda eriganda uning hajmi kattalashadigan bo‘lsa, bosim ortishi bilan erish temperaturasi ham ko‘tariladi: erigan modda bosim ortishi bilan yana qotib qolishi mumkin.

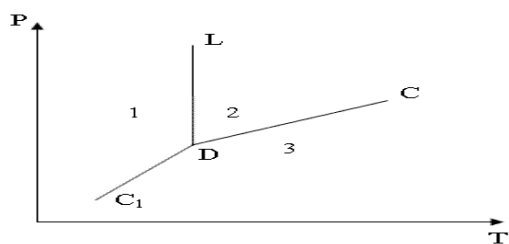
Agar modda erigan vaqtida uning hajmi kichrayadigan bo‘lsa (suv, vismut, sur‘ma va ba‘zi boshqa moddalar), bosim ortishi bilan erish temperaturasi pasayadi; qotgan jism bosim ortishi bilan yana suyulib qolishi mumkin.

Qattiq holatdan suyuq holatga o‘tish proses energiya sarflash bilan bog‘liq; boshqacha aytganda, berilgan qattiq jism massani shu temperaturadagi suyuq holatga o‘tkazish uchun, jisimga ma‘lum miqdorda issiqlik berish kerak bo‘ladi. Bu erish issiqlik deyiladi. Suyuqlik qotgan vaqtda bu energiya issiqlik shaklida ajralib chiqadi. Erish issiqligi turli moddalar uchun turlichadir. Masalan, suv uchun u 80kal/g ga , simob uchun esa atigi 2,75kal/g ga teng.

Erish temperaturasi berilgan moddaning tozaligiga juda ham bog‘liqdir. Ba‘zan ozgina miqdorda boshqa bir moddaning qo‘shilishi erish temperaturasining sezilarli darajada pasaytirishi mumkin. Qattiq jismlar ham suyuqliklar kabi, har qanday temperaturada ozmi-ko‘pmi bug‘lanib, shu moddaning bug‘ini hosil qiladi.

Suyuqlikni berk idishda sovitamiz, suyuqlik ustida esa faqat to‘yingan bug‘ bo‘lsin. Temperatura pasaygan sari, bug‘larning bosimi ham kamayadi; bu bosimning temperaturaga qarab o‘zgarishining grafigi (24.1-rasm)dagi CD chiziq orqali tasvirlangan.

To‘yingan bug‘ bosimi ostidagi suyuqlikning qotishi temperaturasiga D nuqta to‘g‘ri keladi. D nuqtaga etgach, sistemadan issiqlik olish davom ettirilgani holda, suyuqlik qattiq holatga o‘ta boshlaydi, shuning bilan birga, suyuqlikning hammasi qattiq holatga o‘tguncha, temperatura o‘zgarmaydi.



24.1-rasm Uchlik nuqta

1-qattiq faza; 2-suyuq faza; 3-gazsimon faza

Bu vaqt ichida to‘yingan bug‘larning bosimi ham o‘zgarmaydi va u D-nuqtaning ordinatasiga teng bo‘ladi. Butun suyuqlik qattiq holatga o‘tgach, qattiq jism ustidan to‘yingan

bug' ilgarigidek mavjud bo'ladi. Qattiq jismni sovitish davom ettirilsa, to'yingan bug'larning bosimi ham pasaya boshlaydi, lekin bu pasayish yangi DG chiziq bo'yicha boradi.

SHunday qilib D nuqtada ikkita chiziq uchrashadi, qattiq holatdagi berilgan modda ustidagi to'yingan bug' bosimning temperaturaga bog'liqligini tasvirlovchi GD egri chiziq bilan suyuq holatdagi o'sha modda ustidagi to'yingan bug' bosimining temperaturaga bog'liqligini ko'rsatuvchi CD chiziq uchrashadi. D nuqtaning absissasiga to'g'ri keluvchi temperaturadan past temperaturalarda bug' faqat qattiq jism bilangina muvozanatda bo'lishi mumkin; bu temperaturadan yuqori temperaturada esa bug' faqat suyuqlik bilan muvozanatda bo'la oladi. D nuqtaning o'zida moddaning uch holati qattiq, suyuq va ular ustida to'yingan bug' yoki boshqacha aytganda, uchala fazasi muvozanatda bo'ladi. SHuning uchun D-nuqta uchlik nuqta deyiladi.

Masalan suv uchlik nuqtada ($0,00748^{\circ}\text{S}$ da) $R_0=4,58$ mm Ng bosimli to'yingan bug'ga ega bo'ladi; -1°S da muz ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi 4,22 mm Ng va -10°S da 1,95 mm Ng bo'ladi.

Ma'lumki, gaz tegib turgan biror qattiq jismni havosi so'rib olinayotgan idish ichiga joylashtirilsa, jismdan ilgari unga tegib turgan gaz chiqadi. Bundan, qattiq jismlar gazlarni yutadi, degan xulosa kelib chiqadi.

Gazning bosimi qancha katta bo'lsa va qattiq jismning sirti qancha katta bo'lsa, bu yutilish ham shuncha katta bo'ladi. Qattiq jismlarda ikki xil yutilish bo'ladi; ular adsorbsiya va absorbsiya deyiladi.

Adsorbsiya gazning qattiq jism sirtiga yupqa qatlam bo'lib yopishishidan iborat. Absorbsiya (yoki okklyuziya) qattiq jismning butun massasi tomonidan gazning haqiqatan ham yutilishidir, Ya'ni gazlarning suyuqliklarda erishiga o'xshash prosessdir.

Ba'zi qattiq jismlar gazni shunchalik ko'p miqdorda yuta oladiki, natijada yutilgan gazning hajmi qattiq jismning o'z hajmidan yuzlab marta katta bo'ladi. Qizdirilgan Palladiy o'z hajmidan normal bosimdagi hajmi 1000 marta katta bo'lgan miqdordagi vodorodni ko'p yutadi. YUtilgan gazlar vakuumda qizdirish natijasida ajralib chiqadi.

Adsorbsiya va absorbsiya (okklyuziya) hodisalari vakuum texnikasida katta rol uynaydi. Masalan pista ko'mirdan ko'pchilik gazlarni, ayniqsa past temperaturalarda, juda ko'p adsorbsiyalash qobiliyatidan foydalanadilar. Qattiq jismning sirtida faqat gazlarga emas, suyuqliklar ham adsorbsiyalanishi mumkin.

IV. Tayanch tushunchalar.

Kristall qattiq jismning fazoviy panjarasi, atom yoki ionning muvozanat vaziyat atrofida tebranishi, qattiq jismlarni ichki energiyasi, zarralarning muvozanat vaziyatidan chetlashishi, qattiq jismning chizikli yoki hajmiy uzayishi, kristall qattiq jismlarning issiqlik sig'imi, Dyulong va Pti qonuni, qattiq jismlar uchlik nuqtasi, adsorbsiya va absorbsiya yutilishi.

V. Mavzu yuzasidan savollar.

1. Qattiq jismning zarralari harakati va energiya bog'lanishini tushuntiring?
2. Qattiq jism zarralarining to'la ichki energiyasini mohiyatini aytib bering?
3. Issiqlikdan kengayish deyu nimaga aytiladi va uning sababi nima?
4. CHizikli kengayishning temperatura koeffisienti qanday fizik ma'noga ega va uning o'lchov birligi nima?
5. Qattiq jismning hajmiy kengayishi-koeffisienti qanday fizik ma'noga ega va uning o'lchov birligi nima?
6. Kristall qattiq jismlarning issiqlik sig'imi nimaga bog'liq bo'ladi?
7. Dyulong va Pti qonunini mohiyatini tushuntiring?
8. Uchlik nuqtani tushuntirib bering?
9. Gazlarni qattiq jismlar tomonidan yutilishini adsorbsiya va absorbsiya yo'llarini va texnikada, sanoatda foydalanish to'g'risida aytib bering?

30-MA'RUZA. QATTIQ JISMLARDA 1 VA 2-TUR FAZAVIY O'TISHLAR. FAZAVIY O'TISHLARDA HOLAT DIAGRAMMALARI.

Reja:

1. Klapeyron – Klauzius tenglamasi
2. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o'tishlar

Klapeyron – Klauzius tenglamasi

Sirtidagi zarra suyuqlik hajmiga kirib ketsa, uning sirtidagi o'rnini bironta ichkaridagi zarra egallaydi. Bunday o'rin almashinuv paytida umumiy energiya o'zgarmaydi va sirt energiyasining mavjudligi sezilmaydi. Suyuqlik hajmidagi zarra suyuqlik sirtiga va tashqariga chiqib ketishi uchun tortishuv kuchlariga qarshi ish bajarishi, ε energiya sarflash kerak. Birlik massa bug'lanishi uchun q bug'lanish issiqligi sarflanishi kerak. Agar bu energiya suyuqlikning ichki energiyasi hisobiga bajarilsa, suyuqlik soviydi. Bu xossani shamol bor paytda suvdan chiqqan odam butun badani bilan his etadi. Ochiq turgan suvlarning harorati yoz kunlarida bug'lanish hisobiga sovishi doimo sezilib turadi.

Bug'lanish issiqligi kattaligi bilan ajralib turadi. Masalan 100°S temperaturadagi 1 kg suvni bug'ga aylantirish uchun 2.26 MJ energiya zarur, bu energiya 5.4 kg suvni 0°S dan 100°S gacha isitishga yetarlidir. Bug'lanish energiyasining kattaligi suv molekularini tortishuv kuchlari kuchligidan darak beradi.

Gazsimon holatdagi moddaning molekulari suyuqlikka qaytib kelishi mumkin, bir molekula suyuqlikka qaytganda ε , birlik massa modda kondensatsiyalashganda q bug'lanish issiqligi ajralib chiqadi.

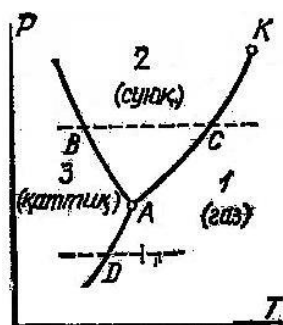
Agar sistema suyuqlik va uning bug'idan iborat bo'lsa, sharoitga qarab bug'lanish, yoki kondensatsiya ustun bo'ladi. Ilmiy tarafdin ular orasida muvozanat shartlarini topish muhimdir.

Gaz yoki suyuqlikdan iborat, ya'ni bir komponentali sistemada bosim va temperatura muvozanati bo'lishi kerak. Ikki komponentali sistemada muvozanat bo'lishi uchun bosim va temperaturaning muvozanati bo'lishi yetarli emas, bundan tashqari ikki komponenta orasida muvozanat bo'lishi, ularning massalari doimiy bo'lishi kerak (va umumiy holda fazalarning kimyoviy potentsiallari o'zaro teng bo'lishi kerak).

Maksvell tenglamasini ko'chiraylik:
$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$$

(1)

Bu tenglamani suyuqlik bug'lanishi yoki gazning kondensatsiya jarayoniga qo'llaganimizda temperatura va umumiy hajm o'zgarmay qolgani uchun tenglikni quyidagicha ko'chiramiz:



1-DACM.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{dS}{dV} \quad (2)$$

Ko'rilayotgan faza almashish jarayoni uchun solishtirma entropiya va solishtirma hajm o'zgarishining nisbatini olishimiz mumkin:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} = \frac{q}{T} \quad (3)$$

$$dV = v_2 - v_1 \quad (4)$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T(v_2 - v_1)} \quad \text{yoki} \quad T \frac{dP}{dT} = \frac{q}{v_2 - v_1} \quad (5)$$

Bu muhim munosabatni Klapeyron – Klauzius tenglamasi deyiladi. Undagi q - solishtirma bug'lanish issiqligi, v_2 va v_1 - ikki fazaning solishtirma hajmlari.

(5) ga ko'ra, dP/dT doimo musbat bo'ladi, demak temperatura oshishi bilan

bug`lanishning muvozanat bosimi oshib boradi. Tenglamaning o`ng tomonidagi miqdorlar, ularning turli temperaturalardagi qiymatlari ma'lum bo`lsa, tenglama bug`lanish egri chizig`ini, muvozanatli holat bosimini temperaturaga bog`liqligini aniqlab beradi. YUqoridan muvozanat holatlari kritik nuqta bilan, pastdan esa muvozanat holatlar suyuqlikni qattiq holati bilan chegaralangan.

Keltirib chiqarilgan (5) tenglama boshqacha fazaviy muvozanatlarni o`rganish uchun ham qo`llanilishi mumkin. Suyuqlik bilan qattiq jismning muvozanatini o`rganilganda tenglamaga solishtirma erish issig`ligi q_{23} , suyuqlik va qattiq fazani solishtirma hajmlari v_2 va v_3

ishlatilishi kerak:

$$T \frac{dP}{dT} = \frac{q_{23}}{v_2 - v_3} \quad (6)$$

Qattiq jismni bug`lanishini tekshirganda esa sublimatsiyani solishtirma issig`ligi, qattiq va gazsimon holatlarning

Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o`tishlar

Suyuqlik bilan muvozanatda turgan bug`ni (gazni) – **to`yingan bug`** deyiladi. Bug`ning bosimi (zichligi) to`yingan bug`nikidan kichik bo`lsa, uni to`yinmagan bug` deyiladi. To`yinmagan bug`ni izotermik siqib, to`yingan holatga keltirish mumkin. To`yinmagan bug`ni sovitib, to`yingan holatga keltirish mumkin. Aksincha, to`yingan bug`ni kengaytirilsa, yoki isitilsa – to`yinmagan holatga o`tadi. To`yinmagan suv bug`ini xarakterlash uchun nisbiy namlik (foizlarda) tushunchasi kiritiladi: nisbiy namlik to`yinmagan bug` bosimini (zichligini) to`yingan bug`ning xarakteristikasining qanday qismini tashkil etishini bildiradi.

Energiya va entalpiya bilan bog`liq bulgan boshqa kattalaiklar sakrab uzgaradigan fazaviy utishlar **birinchi tur fazaviy o`tishlar** deyiladi. Bunda masalan modda zichligi sakrashsimon uzgarishi mumkin. Bu fazaviy utishlarda yangi faza biratula butun xajmda paydo bulmaydi, bunda dastlabki faza markazlari paydo buladi va keyin butun xajm buylab tarkaladi. **Ikkinchi tur fazaviy o`tishlarda** ma'lum xaroratda butun xam buylab utish sodir buladi

Kristallarning xossalari.

Fazaviy o`tishlar.

Kristall va amorf jismlarning issiqlik o`tkazuvchanligi

Kristall jismlarda ularni tashkil qilgan atomlar (yoki boshqa zarralar) bir-biriga nisbatan aniq bir tartibda joylashgan bo`lib, bunday tartib jismning butun hajmiga tegishli bo`ladi. Bunday tartib uzoq tartib nomini olgan. Amorf va jumladan suyuq jismlarda faqat yaqin qo`shni atomlarga tartibli joylashgan bo`lishi mumkin (yaqin tartib). Shuni qayd qilib o`tish lozimki, ba`zi kristall jismlarda, masalan, metallarda anizotropik hamma vaqt ham nomoyon bo`lavermaydi. Bunga sabab, bu jismlarning juda ko`p mayda kristalchalardan tashkil topganligidadir. Bunday jismlar monokristallardan (zarrachalari butun hajm bo`yicha tartib bilan joylashgan) farqli ravishda polikristallar deb ataladi. Kristallanish jarayonida mo-no-yoki polikristallarning hosil bo`lishi, bu jarayon qanday sharoitlarda o`tishga bog`liq bo`ladi.

Klassik fizikada panjara atomlari qarakati mumtoz mexanika qonunlariga bōysunadi deb hisoblanadi. Bu qonunlardan biri o`rtacha energiyaning barcha erkinlik darajalari bōyicha teng taqsimot qonuni bōlib, unga kōra bir er-kinlik darajasiga tōg`ri keladigan o`rtacha kinetik energiya $(1/2)kT$ ga tengdir (bundagi k-Bol`tsman doimiysi). Shu asosda qattiq jismning issiqlik sig`imi mumtoz qonuni kelib chiqadi. $E=3RT$ (Issiqlik sig`imining klassik nazariyasi)

Ta`rifga kōra, qattiq jismning issiqlik sig`imi deb temperatura bir gradusga o`zgarganda uning ichki energiyasining o`zgarishi miqdoriga aytiladi. Bu sig`imni $C=dE/dT$ tarzda aniqlanadi. C-sig`im ayrim termodinamik kattaliklar funktsiyasi bōlib, uning kōrinishi va qiymati qanday sharoitda aniqlanishiga bog`liqdir.

1. Kristall panjarasi issiqlik sig`imining kvant nazariyasi

Debay temperaturasi dan past temperaturalarda kvant qonuniyatlari asosiy ahamiyatga ega. Har bir qattiq jism uchun etarlicha yuqori temperaturalarda bajariladigan D'yulong-Pti qonuni (issi'ushk sig'imi temperaturaga bog'liqmas deb tasdiqlovchi qonun) past temperaturalarda bajarilmasligi tajribalardan ma'lum bōlgandan keyin issiqlik sig'imining kvant nazariyasini yaratish zarurligi ayon bōldi. Plankning mutloq qora jism nurlanishi kvant nazariyasi asosida A.Eynshteyn (1907) birinchi bōlib, ōzining issikushk sig'imi nazariyasini taklif qildi.

Eynshteyn nazariyasi Cv-bōyicha tajriba natijalarini sifatdan tushuntirishga, ya'ni Cv ning T pasayishi bilan kamayib borishini kōrsatishga erishdi. Ammo, Eynshteynning hamma atomlar bir xil takroriylik bilan tebranadi degan farazi faqat hamma atomlar mustaqil tebrangandagina tōg'ri bōlardi, vaxolanki, haqiqatda kristall atomlari bir-biri bilan bog'langan ravishda tebranadi.

P. Debay (1912) taklif qilgan issiqlik sig'imi nazariyasi kōpchilik kristallar uchun past temperaturalarda ōtkazilgan tajribalar natijalarini yaxshi tushuntira oldi.

Debay ham kristall N atomdan tashkillangan bōlsa, unda 3N ta tebranish bōlishi kerak, ammo har bir tebranish o'zining tōlqin vektor k ga bog'liq takroriylikiga ega, barcha chastotalar soni 3N dan iborat erkinlik darajalari soniga teng, bunda takroriyliklar 0 dan to maksimal takroriylikgacha bōlgan 3N ta qiymatni oladi. Akustik tebranishlar tarmog'i uchun

AMALIY MASHG'ULOTLAR UCHUN MATERIALLAR

1-AMALIY MASHG'ULOT: Molyar va nisbiy molekulyar massa. Modda miqdorini hisoblashga doir masalalar.

Ideal gazlar Mendeleev - Klapeyron holat tenglamasiga bo'ysunadi:

$$pV = \frac{M}{\mu} RT$$

bunda p-gazning bosimi, V-uning hajmi, T-absolyut harorat, M - gazning massasi, μ - bir kilomol gazning massasi, R - gaz doimiysi, $\frac{M}{\mu}$ nisbatan kilomollar sonini beradi.

SI birliklar sistemasida gaz doimiysining son qiymati $R=8,31 \cdot 10^3$ j/kmol·grad ga teng.

Dalton qonuniga ko'ra, gaz aralashmasining bosimi ularning parsial bosimlari yig'indisiga, ya'ni har bir gaz alohida olinganida mavjud haroratda bir o'zi butun hajmni to'ldirgandagi bosimlar yig'indisiga teng bo'ladi.

Gazlar kinetik nazaryasining asosiy tenglamasi quyidagi ko'rinishga egadir:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{W}_0 = \frac{2}{3} n \frac{mv^2}{2},$$

bunda n - hajm birligida molekullarning soni, \bar{W}_0 - bitta molekula ilgariylanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi, m-molekulaning massasi va $\sqrt{v^2}$ - molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi.

Bu kattaliklarni quyidagi formulalardan aniqlash mumkin.

Hajm birligidagi molekulaning soni

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

bunda $k = \frac{R}{N_0}$ - Bolsman doimiysi, N_0 - Avogadro soni. $R=8,31 \cdot 10^3$ j/kmol·grad va $N_0=6,02 \cdot 10^{26}$ kmol⁻¹ bo'lganligi uchun, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ j/grad= $1,38 \cdot 10$ erg/grad bo'ladi.

Molekula ilgariylanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi:

$$\bar{W}_0 = \frac{3}{2} kT$$

Molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi:

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{m}}, \quad m = \frac{\mu}{N_0}$$

Molekulalarning issiqlik harakat energiyasi (gazning ichki energiyasi)

$$W = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{i}{2} RT$$

bunda i - molekulaning erkinlik darajasi.

C molekulyar va c solishtirma issiqlik sig'implari quyidagicha o'zaro bog'langandir:

$$C = \mu c$$

O'zgarmas hajmdagi gazning molekulyar issiqlik sig'imi

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

o'zgarmas bosimdagi $C_p + C_v = R$

Bundan ko'rinadiki, molekulyar issiqlik sig'imi gaz molekullari erkinlik darajasining soni bilan to'liq aniqlanadi. Bir atomli gazlar uchun $i = 3$ bo'lib;

$$C_v = 12,5 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 3 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad},$$

$C_p = 20,8 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 5 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad}$
 Ikki atomli gazlar uchun $i = 5$ bo'lib,
 $C_v = 20,8 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 5 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad}$
 $C_p = 29,1 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 7 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad}$

Ko'p atomli gazlar uchun $i = 6$ bo'lib,
 $C_v = 24,9 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 6 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad}$,
 $C_p = 33,2 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad} \cong 8 \text{ kal/mol} \cdot \text{grad}$,

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni (Maksvell qonuni), nisbiy tezliklari u dan $u + \Delta u$ gacha bo'lgan intervalda yotgan molekular soni ΔN ni topishga imkon beradi:

$$\Delta N = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot N \cdot e^{-u^2} \cdot u^2 \cdot \Delta u$$

bu yerda $u = \frac{g}{g_e}$ nisbiy tezlik bo'lib, v - berilgan tezlik va $g_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ - ehtimolliigi eng katta

tezlik. Δu tezlik u ga nisbatan kichik bo'lgan, nisbat tezliklarning interval kattaligi.

Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuniga masalalar yechishda har xil u uchun $\frac{\Delta N}{N \cdot \Delta u}$ ning qiymati berilgan 10-jadvaldan foydalanish qulaydir.

10-jadval

u	$\Delta N/N \cdot \Delta u$		u	$\Delta N/N \cdot \Delta u$
0	0	0,9	0,81	1,8
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9
0,2	0,09	1,1	0,62	2,0
0,3	0,18	1,2	0,78	2,1
0,4	0,31	1,3	0,71	2,2
0,5	0,44	1,4	0,63	2,3
0,6	0,57	1,5	0,54	2,4
0,7	0,68	1,6	0,46	2,5
0,8	0,76	1,7	0,36	

Molekulaning o'rtacha arifmetik tezligi $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$

Ko'pchilik hollarda tezligi berilgan u tezlikning qiymatidan ortiq bo'lgan molekularning N_x sonini bilish muhimdir. 11- jadvalda $\frac{N_x}{N} = F(u)$ ning qiymati berilgan, bunda N - molekularning umumiy soni.

11- jadval

u	N_k/N	u	N_k/N
0	1,000	0,8	0,734
0,2	0,994	1,0	0,572
0,4	0,957	1,25	0,374
0,5	0,918	1,5	0,213
0,6	0,868	2,0	0,046
0,7	0,808	2,5	0,0057

Barometrik formula gaz bosiminnng og'irlik kuchi maydonida balandlikka qarab kamayishini ifodalaydi;

$$P_h = P_0 \ell^{-\frac{\mu g h}{RT}}$$

bunda p_h - gazning h balandlikdagi bosimi, p_0 - gazning $h=0$ balandlikdagi bosimi, g -og'irlik kuchining tezlanishi. Bu formula taqribiydir, chunki balandliklarning farqi katta bo'lganda T temperaturani bir xil deb bo'lmaydi.

Gaz molekulasini erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{z} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} \cdot n}$$

Bunda v - o'rtacha arifmetik tezlik, Z -har bir molekulaning qolgan molekular bilan vaqt birligi ichida o'rtacha to'qnashishlar soni, δ - molekulaning effektiv diametri va n - hajm birligidagi molekular soni.

Barcha molekularni vaqt birligi ichida bir birlik hajmda umumiy to'qnashishlar soni quyidagiga teng:

$$Z = \frac{1}{2} \bar{v} n$$

Diffuziya natijasida Δt vaqt ichida ko'chirilgan massa M quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$M = -D \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t$$

bunda $\frac{\Delta p}{\Delta x}$ -yuz ΔS ga tik yo'nalishdagi zichlik gradienti va D -diffuziya koeffitsiyenti bo'lib, quyidagiga teng:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$$

Bu yerda \bar{v} -o'rtacha tezlik, $\bar{\lambda}$ -molekula erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi.

Gazning Δt vaqt ichida ko'chirilgan harakat miqdori gazdagi ichki ishqalanishning kuchi F ni aniqlaydi:

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

bunda $\frac{\Delta v}{\Delta x}$ -yuz ΔS ga tik yo'nalishdagi gaz oqimining tezlik gradiyenti, η -ichki ishqalanish koeffitsiyenti (dinamik yopishqoqlik)

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} p$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik natijasida Δt vaqt ichida ko'chirilgan issiqlik miqdori quyidagiga teng

$$Q = -K \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t$$

bunda $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ -yuz ΔS ga tik yo'nalishdagi temperatura gradiyenti, K -issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, y:

$$K = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} c_v p$$

ga teng.

Termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin

$$dQ = dW + dA$$

bunda dQ -gazning olgan issiqlik miqdori, dW -gaz ichki energiyasining o'zgarishi va $dA=p dV$ gazning hajmi o'zgariganda uning bajargan ishi. Gazning ichki energiyasining o'zgarishi

$$dW = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R dT$$

bunda dT - haroratning o'zgarishi. Gazning hajmi o'zgariganda bajarilgan to'la ish

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

Gazning hajmi izotermik o'zgarganda bajarilgan ish,

$$A = RT \frac{M}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Adiabatik protsessda gaz bosimi bilan hajmining o'zaro bog'lanishi Puasson tenglamasi bilan ifodalanadi

$$pV = \text{const},$$

ya'ni

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^x$$

bunda

$$x = \frac{S_p}{S_v}$$

Puasson tenglamasini quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin

$$TV^{x-1} = \text{const}$$

ya'ni
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{x-1} \quad \text{yoki} \quad T \cdot p^{\frac{x-1}{x}} = \text{const},$$

ya'ni

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-x}{x}}$$

Gazning hajmi adiabatik o'zgarganda bajarilgan ish, quyidagi formuladan topiladi:

$$A = \frac{RT}{x-1} \cdot \frac{M}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{x-1} \right] = \frac{RT_1}{x-1} \cdot \frac{M}{\mu} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{P_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(x-1) T_1},$$

bunda p_1 va V_1 - gazning T_1 haroratdagi bosimi va hajmi.

Politropik protsessning tenglamasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi

$$pV^n = \text{const}$$

yoki

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

bunda n - politrop ko'rsatkichi ($1 < n < x$).

Issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

bunda Q_1 - ishchi jismga berilgan issiqlik miqdori va Q_2 - sovitgichga berilgan issiqlik miqdori. Karnoning ideal sikli uchun f. i. k.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

bunda T_1 - isitgichning harorati, T_2 - sovitgichning harorati.

B va A ikkita holatdagi $S_B - S_A$ farqi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

5.1. 2 g azot 2 atm bosim ostida 820 sm^3 hajmi egallasa, uning harorati qanday bo'ladi?

- 5.2. 20°C haroratda 750 mm sim. ust. bosimda 10 g kislorod qanday hajmni egallaydi?
- 5.3. Sig'imi 12 l bo'lgan ballonda $8,1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ bosim va 17°C haroratda azot to'ldirilgan. Ballonda qancha azot bor?
- 5.4. Og'zi mahkam berkitilgan shishadagi havoning 7°C haroratda bosimi 1 atm. Shisha isitilganda havo bosimi 1,3 atm ga yetganda tiqin otilgan. Shisha qanday haroratgacha isitilganligi topilsin.
- 5.5. 6,4 kG kislorod sig'adigan ballon devori 20°C haroratda 160 kG/sm^2 bosimga chidasa, uning eng kichik hajmi qanday bo'ladi?
- 5.6. Ballonda 10^7 N/m^2 bosimli 10 kg gaz bo'lgan. Ballondagi bosim $2,5 \cdot 10^6 \text{ n/m}^2$ ga teng bo'lishi uchun ballondan qancha miqdor azotni olish kerak? Azotni harorati o'zgarmas deb hisoblansin.
- 5.7. 27 ° C haroratda 760 mm sim. ust. bosimli 25 l oltingugurt gazi (SO₂) ning massasi topilsin.
- 5.8. Balandagi 5m va polining yuzi 200 m² bo'lgan auditoriyadagi havoning massasi topilsin. Binoning harorati 17 ° C, bosimi 750 mm. Sim.ust.ga teng. (Bir kilomol havoning massasi 2,9 kg/mol deb olinsin.)
- 5.9. Binoni to'ldirib turgan qishdagi (7 °C) havoning og'irligi yozdagi (37 ° C) havoning og'irligidan necha marta katta? Bosim bir xil deb olinsin.
- 5.10. 1) 0 ° C va 2) 100 °C haroratlar uchun 0,5 g vodorodning izotermalari chizilsin.
- 5.11. 1) 29 °C va 2) 180 °C haroratlar uchun 15,5 g kislorodning izotermalari chizilsin.
- 5.12. Gaz solingan 10 m³ hajmli ballonga 17 °C harorat va 720 mm sim.ust.bosimga qancha miqdorda kilomol'gaz bo'ladi?
- 5.13. 4 l hajmli yopiq idishni 20 °C haroratli 5g azot 40 °C haroratgacha isitilgan. Gazning isitilishidan oldingi va keyingi bosim topilsin.
- 5.14. Havosi so'rib olingan, ikki uchi kavsharlab qo'yilgan gorizontol kapillyarlarning o'rtasida $l=20 \text{ sm}$ uzunligidagi simob ustuni bor. Agar kapillyarni vertikal qilib qo'yilsa, simob ustuni $\Delta l = 10 \text{ sm}$ siljiydi. Kapillyarlardagi havo qaysi bosimgacha so'rib olingan? Kapilyarning uzunligi $L=1 \text{ m}$.

2-AMALIY MASHG'ULOT: Ideal gazning bosimi.

- 5.15. "1tonna qo'rg'oshin og'irimi yoki 1 tonna po'kakmi?" degan hazil savol hammaga ma'lum. Havoda o'lchangan 1T kelgan po'kakning haqiqiy og'irligi, havoda xuddi shunday 1T kelgan qo'rg'oshinning haqiqiy o'g'iligidan qancha katta ekanligi hisoblansin. Havoning harorati 17 °C bosimi esa 760 mm sim.ust. ga teng.
- 5.16. Vodorod to'ldirilgan 25sm diametrli bolalar sharchasining natijaviy ko'tarilish kuchi nolga teng bo'lish, ya'ni sharpa muallaq vaziyatga bo'lishi uchun sharpa qobig'ining og'irligi qanday bo'lishi kerak? Sharhning ichki bosimi tashqi bosimga teng.
- 5.17. 50°C haroratda to'yingan suv bug'ining elastikligi 92,5mm sim.ust.ga teng bo'lsa, bu bug'ning zichligi nimaga teng?
- 5.18. 15°C harorat va 730mm sim.ust. bosimdagi vodorodning zichligi topilsin.
- 5.19. 10°C harorat va $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimdagi biror gazning zichligi $0,34 \text{ kg/m}^3$ ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?
- 5.20. Hozirgi zamon laboratoriya usullari bilan idishdagi havo so'rib olinib, u juda yaxshi siyraklashtirilgan ($p=10^{-11} \text{ mm sim.ust.}$) bo'lsa, idishdagi havoning zichligi nimaga teng? Havoning harorati 15 °C ga teng.
- 5.21. 7°C haroratli 12g gaz $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmni egallaydi. Gaz o'zgarmas bosimga isitilganda uning zichligi $6 \cdot 10^{-4} \text{ g/sm}^3$ ga teng bo'lib, qolgan. Gaz qanday haroratgacha isitilgan?
- 5.22. 10 g kislorod 10°C harorat va 3 atm bosimga turibdi. U o'zgarmas bosimda qizdirilgandan so'ng kengayib, 10 l hajmni egallaydi Gazning 1) kengaygandan oldingi hajmi, 2) kengaygandan keyingi harorati, 3) kengayishdan oldingi zichligi va 4) kengaygandan keyingi zichligi topilsin.
- 5.23. Kavsharlangan idish hajmining yarmigacha suv to'ldirilgan. 400°C haroratda suvning to'liq bug'ga aylanishi ma'lum bo'lsa, bu haroratda suv bug'ining bosimi va zichligi

topilsin.

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

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

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

5.27. $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmli idish 6 g karbonat angidrit (CO_2) va 5 g azot (1)-oksidi (N_2O) bilan to'ldirilgan. 127°C haroratda idishdagi umumiy bosim qanday?

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

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

5.30. $0,5 \text{ l}$ sig'imli idishda 1 g bug'simon yod bor. 1000°C haroratda idishdagi bosim 700 mm sim.ust. ga teng bo'lgan. Shunday sharoitda yod molekulasi J_2 ning yod atomlari Jga teng dissotsiyasiyalanish darajasi topilsin. J_2 ning bir kilomol massasi 254 kg/kmol ga teng

3-AMALIY MASHG'ULOT: Ideal gaz qonunlari yordamida gazning holat parametrlarini aniqlash. Modda konsentratsiyasi va molekular sonini hisoblash.

5.31. Idishda karbonat angidrid gazi bor. Biror haroratda korbmat angidrid gazining kislородga va karbon oksidiga dissotsiatsiyalanish darajasi 25% ga teng. Bu sharoitdagi bosim karbonat angidrid gazi molekulari dissotsiyalanmagandagi bosimdan necha marta katta bo'ladi?

5.32. Havo og'irligining $23,6 \%$ qismi kislородdan va $76,4$ qismi azotdan tashkil topgan deb hisoblab, havoning 750 mm.sim.ust. bosimda va 13°C haroratdagi zichligi topilsin. bu sharoitda kislород va azodning porsial bosimi topilsin.

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

5.34. 1) Vodorod 2) geliy atomining massasi topilsin.

5.35. 600 m/sek tezlik bilan uchib kelayotgan azotning molekulasi idish devoriga normal ravishda urilib, undan tezligini yo'qotmasdan elastik qaytadi. Urulish vaqtida idish devorining olgan kuch impulsi topilsin.

5.36. 500 m/sek tezlik bilan uchib kelayotgan argon molekulasi idish devoriga elastik uriladi. Molekula tezligining yo'nalishi bilan idish devoriga o'tkazilgan normal orasidagi burchak 60° ni tashkil qiladi. Urulish vaqtida idish devorining olgan kuch impulsi topilsin.

5.37. 430 m/sek tezlik bilan uchib kelayotgan azot molekulasining harakat miqdori topilsin.

5.38. 1 g suv bug'ida qancha molekula bo'ladi.

5.39. 4 l sig'imli idishda 1 g vodorod bor. Bu idishning har 1 m^3 hajmida qancha molekula bo'ladi.

5.40. 17°C haroratva 750 mm sin. ust. bosimda 80 m^3 hajmli uyda qancha havo molekulasi bo'ladi.

5.41. Hozirgi zamon laboratoriya usullari bilan idishdagi havo so'rib olinib u juda siyraklashtirilgan ($p = 10^{-11} \text{ mm sim. ust.}$) bo'lsa 10°C haroratda idishning har 1 m^3 hajmda qancha molekula bo'ladi.

5.42. Shisha idishda yaxshi vakuum olish uchun adsorbsiyalangan gazni chiqarishda idish devorlarini qizdirish zarurdir. Agar adsorbsiyalangan gaz molekulari idish devoridan idish ichiga o'tsa, u holda $r = 10 \text{ sm}$ raduysli sferik idishdagi bosimning qanchaga ortishi hisoblansin. Adsorbsiya qatlamini molekular qatlam deb, molekulaning ko'ndalang kesimini esa 10^{-15} m^2 deb olinsin. Harorat $t = 300^{\circ} \text{C}$.

5.43. Agar yodning dissotsiatsiya darajasi 50% bo'lsa, uning 1g bug'ida qancha zarracha bo'ladi. Yod J_2 ning bir kilomol massasi 254 kg/kmol ga teng.

5.44. Yarmisi dissotsiatsiyalangan 16g kislorodda qancha zarracha bo'ladi?

4-AMALIY MASHG'ULOT: Ideal gaz qonunlari va ularning qo'llanilishi. Boyl-Mariott qonuni.

5.45. Idishda 10^{-10} kilomol kislorod va 10^{-6} g azot bor. Aralashmaning harorati 100°C ga teng. Bunda idishdagi bosim 10^{-3} mm sim.ust.ga teng. 1) idishning hajmi, 2) kislorod va azotning portsiyal bosimi, 3) idishning har 1m^3 hajmidagi molekulyar soni topilsin.

5.46. Havoni bir kilomolining massasi $\mu=29$ kg/kilomolga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblab, 17°C haroratda havo molekularining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

5.47. Bir xil haroratdagi geliy va azot molekulari o'rtacha kvadratik tezliklarning nisbati topilsin.

5.48. Atom bombasi portlash paytida harorat taxminan 10^6C gradusgacha ko'tariladi. Bunday haroratda hamma molekularni atomlarga dissotsiatsiyalangan, atomlarni esa ionlashgan hisoblab, vodorod ionning o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

5.49. Agar 200 mm sim.ust.bosimida vodorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 m/sek ga teng bo'lsa, bu sharoitda 1m^3 hajmdagi vodorod molekularining soni topilsin.

5.50. Biror gazning zichligi $6\cdot 10^{-2}$ kg/m³ ga, molekularning o'rtacha kvadratik tezligi esa 500 m/sek ga teng. Gazning idish devoriga ta'sir qilgan bosimi topilsin.

5.51. 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.

5.52. 20°C haroratda vodorod molekulasining harakat miqdori topilsin. Molekulaning tezligini o'rtacha kvadratik tezlikga teng deb hisoblansin.

5.53. 2 l hajmli idishda 680 mm sim. ust. bosimli 10 g kislorod bor: 1) gaz molekularning o'rtacha kvadratik tezligi, 2) idishdagi molekularning soni, 3) gazning zichligi topilsin.

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

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

5.56. 1) 750mm sim.ust. bosimda zichligi $8,2\cdot 10^{-5}\text{g/sm}^3$ ga teng bo'lgan gaz molekularning o'rtacha kvadratik tezligi topilsin. 2) agar zichlikning bu qiymati 17°C harorat uchun berilgan bo'lsa gazning 1 kmol massasi nimaga teng.

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

5.58. 10°C haroratda 20g kislorod issiqlik harakat energiyasi nimaga teng? Bu energiyaning qancha qismi molekularning ilgarilama harakatiga va qancha qismi aylanma harakatga to'g'ri keladi?

5.59. 15°C haroratda havoning 1g dagi molekulari issiqlik harakatining kinetik energiyasi topilsin. Havoning bir kilomolining massasi 29 kg/kmol ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

5.60. 7°C haroratda 1kg dagi azot molekularning aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng.

5.61. $1,5\cdot 10^5\text{N/m}^2$ bosimda bo'ldan 2 litr hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi nimaga teng.

5.62. 0,02 m³ hajmli balondagi azot molekulari ilgarilama harakatining kinetik energiyasi $2\cdot 10^3\text{J}$ ga o'rtacha kvadratik tezligi esa $2\cdot 10^3$ m/sek ga teng. 1) ballondagi azotning miqdori, 2) azot qanday bosimda bo'lganligi topilsin.

5.63. Geliyning atomlari yerning tortishish kuchini yengib yer atmosferasini abadiy tashlab ketishi uchun geliy atomlari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energetik qanday

temperaturada yetarlicha bo'ladimi? Shunga o'xshash masala oy uchun yechilsin.

5.64. $p=8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ bosimda zichligi $\rho=4\text{kg/m}^3$ bo'lgan 1kg 2 atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

5.65. $p=40\text{mm sim.ust}$ 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-AMALIY MASHG'ULOT: Ideal gaz qonunlari va ularning qo'llanilishi. Gey-Lyusak qonuni. Sharl qonuni.

5.66. 1) $V=\text{const}$ va 2) $p=\text{const}$ bo'lganda kislorodning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

5.67. 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'imi topilsin.

5.68. O'zgarmas bosimda kislorod uchun solishtirma issiqlik sig'imining o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imining nisbati topilsin.

5.69. Biror 2 atomli gazning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 3,5 kal/g·gradga teng. Bu gaz 1 kilomolining massasi nimaga teng.

5.70. 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'imi nimaga teng.

5.71. Agar biror gaz 1 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_v va c_p solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

5.72. Qaldiraq gaz (vodorod bilan kislorodning portlovchi aralashmasi) ning issiqlik sig'imi shu gaz yonganda hosil bo'lgan suv bug'ining issiqlik sig'imidan necha marta katta: Masalani 1) $V=\text{const}$ 2) $p=\text{const}$ hollar uchun yechilsin.

5.73. Agar kislorodning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 1050 J/kg·grad ga teng bo'lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga teng.

5.74. Dissotsiatsiya darajasi 50% ga teng bo'lsa, bug'simon iodning c_v va c_p solishtirma issiqlik sig'imi topilsin. Iod J_2 ning 1 kilomol massasi 254 kg/kmol ga teng.

5.75. Agar azot uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbatning 1,47 ga tengligi ma'lum bo'lsa, uning dissotsiatsiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

5.76. 3 kilomol argon va 2 kilomol azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

5.77. 8 g geliy va 16 g kisloroddan iborat bo'lgan gaz aralashmasi uchun $\frac{c_p}{c_v}$ nisbati topilsin.

6-AMALIY MASHG'ULOT: Gaz aralashmasining molyar massasini va holat parametrlarini hisoblash.

5.78. 1 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.

5.79. 10°C temperaturada 10g kislorod $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ o'zgarmas bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib, 10 l hajmni egallaydi. 1) gazning olingan issiqlik miqdori 2) gaz molekularining oldingi va keyingi harakat energiyasi topilsin.

5.80. Ikki l hajmli yopiq idishda 10°C haroratda 12 g azot bor. Isitilgandan keyin bosim 10^4 mm.sim.ust. ga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan.

5.81. 10^5 N/m^2 bosimda 2 l azot bor. 1) $p=\text{const}$ bo'ldanda uning hajmini ikki barobar ortishi uchun, 2) $V=\text{const}$ bo'lganda uning bosimini ikki marta ortirish uchun qanchadan issiqlik miqdori berish kerak.

5.82. Yopiq idishda 27°C haroratda va 10^5 N/m^2 bosimda 14 g azot bor. Isitilgandan keyin

idishdagi bosim 5 marta ortgan.1) gazning qanday haroratgacha isitilganligi 2) idishning hajmi 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.83. 12 g kislorodni o'zgarmas bosimda 50°C ga isitish uchun qancha issiqlik miqdori sarflash kerak.

5.84. 40 g kislorodni 16°C dan 40°C gacha isitish uchun 150 kal issiqlik sarf bo'lgan. Gaz qanday sharoitda isitilgan? (o'zgarmas hajmdami yoki o'zgarmas bosimdami).

5.85. Yopiq idishda 10^5N/m^2 bosimda 10 l havo bor. Idishdagi bosimni 5 marta orttirish uchun havoga qancha issiqlik berish kerak.

5.86. 1) 0,053 kkal issiqlik miqdori berib, karbonat angidridning qancha miqdori 20°C dan 100°C gacha isitish mumkin. Bunda bitta molekulaning kinetik energiyasi qancha ortadi? Isitish vaqtida gaz $p=\text{const}$ bosimda kengayadi.

5.87. $V=2$ l hajmli yopiq idishda zichligi $\rho=1,4$ kg / m^3 ga teng azot bor. Shu sharoitda azotni $\Delta t = 100^{\circ}$ ga isitish uchun unga qancha Q issiqlik miqdori berish kerak.

5.88. 3 l hajmli yopiq idishda 3 atm bosimda 27°C haroratli azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 25 atm ga ko'tarilgan 1) isitilgandan keyingi azotning harorati, 2) azotga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.89. Biror miqdordagi gazni o'zgarmas bosimda 50° ga isitish uchun 160 kal issiqlik miqdori sarf qilish kerak. Agar shu miqdordagi gazni o'zgarmas hajmda 100° ga sovitilsa, 240 kal issiqlik miqdori ajraladi. Bu gaz molekullari qanday sonli erkinlik darajasiga ega bo'ladi.

7-AMALIY MASHG'ULOT:

Gaz molekullarining tezliklari bo'yicha taqsimoti. Maksvell taqsimoti. Molekullarning xarakterli tezliklarini hisoblash.

5.90. Yopiq idishda 7°C haroratli 10g azot bor.1) azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligini ikki barabar orttirish uchun unga qancha issiqlik berish kerak? 2) bunda harorat necha marta ortadi? 3) bunda gazning idish devoriga bergan bosimi necha marta oshadi?

5.91. 2 l hajmli yopiq idishda 10^5 N/ m^2 bosimda 20°C haroratli geliy bor. 1) Geliy haroratini 100° ga orttirish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak. 2) yangi haroratda gaz molekullarning o'rtacha kvadratik tezligi qanday bo'ladi. 3) bosim qanday bo'lib qoladi. 4) geliy zichligi qanday bo'ladi. 5) uning molekullari issiqlik harakatining energiyasi qanday bo'ladi.

5.92. Normal sharoitda ikki litr hajmli yopiq idishda m g azot va m g argon bor.u gaz aralashmasini 100° isitish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak.

5.93. 300 mm sim.ust. bosimda zichligi 0,3g/l bo'lgan gaz molekullarning o'rtacha arifmetik, kvadratik va ehtimoli eng katta tezliklar topilsin.

5.94. Qanday haroratda azot molekullarning o'rtacha kvadratik tezligi ularning ehtimolligi eng katta tezligidan 50 m/sek ga ortiq b'ladi.

5.95. 0°C da kislorod molekullarning qancha qismi 100 m/sek dan 110 m/sek gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi.

5.96. 150°C azot molekullarning qancha qismi 300m/sek dan 325m/sek gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi.

8-AMALIY MASHG'ULOT:

Maksvell taqsimoti. Molekullarning xarakterli tezliklarini hisoblash.

5.97. 0°C da vodorod molekullarining qancha qismi 2000 m/sek dan 2100 m/sek gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi.

5.98. Tezliklari $\sqrt{v^2}$ dan $\sqrt{v^2} + \Delta v$ intervalda yotgan molekullarning ΔN_1 soni tezliklari v_3 dan $v_3 + \Delta v$ intervalda yotgan molekullarning soni ΔN_2 dan necha marta kichik .

5.99. T haroratda azot molekullarining qanday qismi $v_3 + \Delta v$ intervaldagi tezliklarga ega bo'ladi. Bunda $\Delta v = 20$ m/sek? Masala: 1) $T=400^{\circ}\text{K}$ va $T=900^{\circ}\text{K}$ uchun yechilsin.

5.100. $t=150^{\circ}\text{C}$ haroratda azot molekullarining qanday qismi $v_1=300\text{m/sek}$ dan

$v_2=800\text{m/sek}$ intervaldagi tezliklarga ega bo'ladi.

5.101. Molekulalar N umumiy sonning qanday qismi: 1) ehtimolligi eng katta tezlikdan katta tezliklarga, 2) ehtimolligi eng katta tezlikdan kichik tezlikka ega bo'ladi.

5.102. Ballonda 2,5 g kislorod tezliklari o'rtacha kvadratik tezlikdan katta bo'lgan kislorod molekulalarining soni topilsin.

5.103. Idishda 1600°K haroratli 8 g kislorod bor. Ilgarilama harakatning kinetik energiyasi $W_0 = 6,65 \cdot 10^{-20} \text{ j}$ dan yuqori bo'lgan kislorod molekulalarining soni qanday?

5.104. Zaryadli zarrachalarning energiyasi ko'pincha elektron voltlarda o'lchanadi. 1 elektron volt (1 eV) elektronning potentsiallar ayirmasi 1 v bo'lgan elektr maydondan o'tganda olgan energiyasidir. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ekanligini ko'rsatish mumkin. 1) qanday haroratda molekulaar ilgarilama harakatning o'rtacha kinetik energiyasi 1eV tengligi, 2) qanday haroratda hamma molekulalar 50% ining ilgarilama harakatining o'rtacha kinetik energiyasi 1 eV dan yuqori bo'lishligi topilsin.

9-AMALIY MASHG'ULOT:

Gaz molekulalarini o'rtacha tezliklarini aniqlash. Eng ehtimolli tezlik, o'rtacha arifmetik tezlik, o'rtacha kvadratik tezlik.

5.105. Kaliy atomlarining ionizatsiya ishi $10^5 \text{ kkal/kg-atomga}$ teng. Ilgarilama harkatdagi barcha gaz molekulalari 10% ning energiyasi kaliyning bitta atomini ionizatsiyalash uchun zarur bo'lgan energiyadan qanday haroratda katta bo'lishligi topilsin.

5.106. Eng baland kosmik stansiya Armanistondagi Alagyos tog'ida 3250 m balandlikda joylashgan. Havoning shu balandlikdagi bosimi topilsin. Havoning harorati o'zgarmas va 5°C ga teng deb hisoblansin. 1kilomol havoning massasi 29 kg/kilmol ga teng deb olinsin. Dengiz sathidagi bosimni 760mm/sin.ustga teng deb olinsin.

5.107. Qanday balandlikda havoning bosimi dengiz sathidagi bosimning 75% i ni tashkil qiladi. Harorat o'zgarmas va 0°C ga teng deb hisoblansin.

5.108. Yo'lovchi samolyoti 8300 m balandlikda uchadi. Yo'lovchilarni kislorod maskasi bilan ta'minlamalik uchun kompressor yordamida 2700 m balandlikdagi bosimga teng doimiy bosim tutib turiladi. Kabina ichidagi va tashqarisidagi bosimlarning farqi topilsin. Tashqi havoning o'rtacha harorati 0°C deb qabul qilinsin.

5.109. Oldingi masalada tashqi havoning harorati -20°C va kabinaning ichki harorati $+20^{\circ}\text{C}$ bo'lsa bu holda kabinadagi havoning zichligi tashqi havoning zichligidan necha marta katta bo'ladi.

10-AMALIY MASHG'ULOT:

Molekulalarning xarakterli tezliklarini hisoblash. Barometrik formula. Bolsman taqsimoti

5.110. 1m^3 havoning; 1)Yerning sirtida 2)Yer sirtidan 4km balandlikda og'irligi qancha? Havoning haroratini o'zgarmas va 0°C ga teng deb olinsin. Yer sirtida havoning bosimi 10^5 N/m^2 ga teng.

5.111. Qanday balandlikda gaz dengiz sathidagi zichligining 50% zichligidek zichlika ega bo'ladi? Haroratni o'zgarmas va 0°C ga teng deb hisoblansin. Masalani: 1) havo va 2) vodorod uchun yeching.

5.112. Perren mikroskop yordamida muallaq gummigut zarrachalar konsentratsiyasining balandlikka qarab o'zgarishini kuzatadi va barometrik formulani qo'llab eksperimental ravishda Avagadro soning qiymatini topdi. Perren tajribalaridan birida qatlamlarning orasi 100 mkm bo'lganda pastki qatlamdagi muallaq gummigut zarrachalarning soni yuqori qatlamdagidan ikki marta ko'p ekanligini aniqladi. Gummigutning harorati 20°C . $0,3 \cdot 10^{-4} \text{ sm}$ diametrli gummigut zarrachalari zichligi zarrachalar zichligidan $0,2 \text{ g/sm}^3$ ga kam bo'lgan suyuqlikga aralastirgan. Bu berilganlarga asosan Avagadro soni topilsin.

5.113. 100°C harorat va 0,1 mm sim. ust bosimda karbonat angidridning molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li aniqlansin. Karbonat angidrid molekulasining diametri $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ ga teng deb olinsin.

5.114. Yer uchinchi yoʻldoshi oʻrnatilgan ionizatsion manometr yordamida yer sirtidan 300 km balandlikdagi atmosferaning 1sm^3 hajmida 1 milliardga yaqin gaz zarrachalari borligi aniqlandi. Shu balandlikdagi gaz zarrachalarining oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin. Zarrachalarning diametrini $2 \cdot 10^{-10}$ m ga teng deb olinsin.

5.115. Normal sharoitda havo molekulasining oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin. Havo molekulasining diametri shartli holda $3 \cdot 10^{-8}$ sm teng deb olinsin.

5.116. Agar 100°C haroratda karbonat angidrid molekulasining oʻrtacha erkin yugurish yoʻli $8,7 \cdot 10^{-2}$ sm ga teng boʻlsa molekularning bir sek dagi oʻrtacha toʻqnashishlari soni topilsin.

5.117. $t=27^\circ\text{C}$ harorat va $p=400$ mm sim.ust. bosimda azot molekularining 1 sek dagi oʻrtacha toʻqnashishlar soni topilsin.

5.118. Normal sharoitda 0,5 l hajmli idishda kislorod bor. Bu hajmdagi kislorod molekularning 1 sek dagi oʻzaro toʻqnashishlarining umumiy soni topilsin.

11-AMALIY MASHGʻULOT:

Molekularning erkin yugurish yoʻli. Ideal gazlarning ichki energiyasini hisoblash va ichki energiyaning erkinlik darajalari boʻyicha taqsimoti.

5.119. Agar ikki atomli gazning hajmi adiabatik ravishda 2 baravar orttirilsa gaz molekularning 1sek dagi toqnashishlar soni necha marta kamayadi?

5.120. 17°C harorat va 10^4 N/m² bosimda azot molekularning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin. Azot molekulasining diametri $3 \cdot 10^{-8}$ sm deb olinsin.

5.121. Geliy zichligi $\rho=2,1 \cdot 10^{-2}$ kg/m³ boʻlganda geliy atomlarning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin. Geliy atomining diametri $2 \cdot 10^{-8}$ sm deb olinsin.

5.122. $t=50^\circ\text{C}$ harorat va $p=10^{-3}$ mm sim.ust. bosimda vodorod molekularining oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin.

5.123. 0°C harorat va biror bosimda kislorod molekularning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli $9,5 \cdot 10^{-8}$ m ga teng. Agar oʻzgarmas haroratda idishdagi kislorodning bir qismini nasos bilan dastlabki bosimning 0,01 mm qismiga teng boʻlganga qadar soʻrib olinsa, kislorod molekularning 1 sek dagi oʻrtacha toʻqnashishlar soni nimaga teng.

5.124. Maʼlum bir sharoitda gaz molekularining oʻrtacha erkin yugurish yoʻli $1,6 \cdot 10^{-7}$ m ga teng va oʻrtacha arifmetik tezligi esa 1,95 km/sek teng. Agar berilgan haroratda gazning bosimi 1,27 marta kamaytirilsa ugaz molekularining 1 sek dagi ortacha toʻqnashishlar soni nimaga teng boʻladi.

5.125. 100sm^3 hajmli kolbada 0,5g azot bor shu sharoitda azot molekularning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin.

5.126. Idishda zichligi $\rho_1=1,7$ kg m³, shu sharoitda molekularning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli $\lambda =7,9 \cdot 10^{-6}$ sm ga teng boʻlgan karbonat angidrid gazi bor. Karbonat angidrid gazi molekularining diametri topilsin.

5.127. 10°C haroratga 1mm sim.ust. bosimda azot molekularning 2 ta ketma - ket toʻqnashishlari orasidagi vaqt topilsin.

5.128. Idishdagi havo bosimi 10^{-6} mm sim.ust.gacha soʻrib olingan. Bu holda havoning zichligi, idishning har bir sm^3 hajmidagi molekularining soni va molekularning oʻrtacha erkin yugurish yoʻli topilsin. Havo molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm va 1 kmol havo massasi $\mu=29$ kg/kmolga teng deb hisoblansin. Havo harorati 17°C ga teng.

5.129. 15 sm diametrli sferik idishdagi gazning molekulari bir-biri bilan toʻqnashmasligi uchun bir sm^3 hajmda eng koʻpi bilan qancha molekula boʻlishi kerak? Gaz molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga teng deb olinsin.

5.130. Gazning molekulari bir-biri bilan toʻqnashmasligi uchun diametric: 1) 1sm, 2) 10 sm va 3) 100 sm boʻlgan sferik idishning ichida qanday bosim hosil qilish kerak? Gaz molekulasining diametrini $3 \cdot 10^{-8}$ sm ga gazning haroratini esa 0°C ga teng deb olinsin.

5.131. Razryad nayida katod bilan anod orasi 15 sm ga teng. Elektronlar katoddan anodgacha boʻlgan yoʻlda havoning molekulari bilan toʻqnashmasligi uchun razryad nayida qanday bosim hosil qilishi kerak? Harorat 27°C ga teng. Havo molekularning diametrini $3 \cdot 10^{-8}$

sm ga teng deb olinsin. Gazda elektronlarning o'rtacha erkin yugurish yo'li 5,7 marta katta.

5.132. 1 l hajmli sferik kolbada azot bor. Azotning zichligi qanday bo'lganda azot molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'li idishning o'lchamidan katta bo'ladi.

5.133. Agar biror bir gaz molekularining o'rtacha erkin yugurish yo'lini $5 \cdot 10^{-7}$ sm va o'rtacha kvadratik tezligi 500 m sek bo'lsa shunday sharoitda gaz molekulasining 1 sek dagi o'rtacha to'qnashishlar soni topilsin.

12-AMALIY MASHG'ULOT: Gazga berilgan issiqlik miqdori. Gazning ishi va ichki energiyasi orasidagi bog'lanish.

5.159. $3 \cdot 10^5$ N/m² bosimda bo'lgan 10⁰C haroratli 10g kislorodni o'zgarmas bosimda isitish natijasida u kengayib, 10 l hajmni egallaydi. 1) gazning olgan issiqlik miqdori 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi 3) gaz kengayishida bajarilgan ish topilsin.

5.160. Harorati 27⁰C bo'lgan 6,5 g vodorod p=const bosimda tashqaridan berilayotgan issiqlik hisobiga ikki marta kengaygan. 1) gazning kengayish ishi 2) gazning ichki energiyasining o'zgarishi 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.161. Yopiq idishda 20 g azot va 32 g kislorod bor. Bu gaz aralashmasini 28⁰ ga sovutilganda uning ichki energiyasining o'zgarishi topilsin.

5.162. 2 kilomol karbonat angidrid gazi o'zgarmas bosimda 50⁰ga isitilgan. 1) gaz ichki energiyasining o'zgarishi 2) kengayganda bajarilgan ish 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.163. Ikki atomli gazga 500 kal issiqlik berilganda u o'zgarmas bosimda kengaygan. Gazning kengayishida bajarilgan ish topilsin.

5.164. 2 atomli gaz izobarik ravishda kengayganda 16 kGm ish bajarilgan. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan?

5.165. $2 \cdot 10^5$ N/m² bosim ostida berilgan 17⁰C haroratli 5 l hajmni egallagan gaz isitilganda izobarik ravishda kengaygan. Bunda gazning kengayish ishi 20 kGm ga teng bo'lgan. Gaz necha gradusda isitilgan?

5.166. 7 g karbonat angidrid gazi erkin kengaya olish sharoitida 10⁰da isitilgan gazning kengayishida bajarilgan ish va ichki energiyasining o'zgarishi topilsin.

5.167. Ko'p atomli 1 kilomol gaz erkin kengaya olish sharoitda 100⁰ga isitilgan. 1) gazga berilgan issiqlik miqdori 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi 3) kengayishda bajarilgan ish topilsin.

5.168. Idishdagi porshen ostida 1 g azot bor. 1) Azotni 10⁰ ga isitish uchun qancha issiqlik miqdori sarf qilish kerak? 2) bunda porshen qancha ko'tarilgan? Porshenning og'irligi 1 kG, uning ko'ndalang kesim yuzi 10sm². Porshen ustidagi bosim 1 atm ga teng.

5.169. Idishdagi porshen ostida qaldiraq gaz bor. Qaldiraq gaz portlaganda uning ichki energiyasi 80,2 kal ga o'zgarganligi va porshenning 20 sm ko'tarilganligi ma'lum bo'lsa, bunda qancha issiqlik miqdori ajratilganligi topilsin. Porshenning og'irligi 2 kG, uning ko'ndalang kesim yuzasi 10 sm². Porshen ustida normal sharoitda havo bor?

5.170. 10,5g azot -23⁰ C haroratda izotermik p₁=2,5 atm bosimdan p₂=1 atm bosimgacha kengayadi. Gazning kengayishida bajarilgan ish topilsin.

5.171. 17⁰C haroratli 10 g azot izotermik kengayganda 860 J ga teng ish bajarilgan. Azot kengayganda bosim necha marta o'zgargan?

5.172. Biror 10g gaz izotermik V₁ hajmdan V₂=2V₁ hajmgacha kengayganda 575 J ga teng ish bajarilgan. Bu haroratdagi gaz molekulasining o'rta kvadratik tezligi topilsin.

5.173. Normal sharoitda 1 l geliy tashqaridan olgan issiqlik hisobiga izotermik 2 l hajmgacha kengaygan. 1) Kengayishga gazning bajarilgan ishi, 2) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.174. 2 m³ gaz izotermik kengayganda uning bosimi p₁=5at dan p₂=4 at gacha o'zgargan. Bunda bajarilgan ish topilsin.

13-AMALIY MASHG'ULOT: Ideal gazlarning issiqlik sig'irlarining nisbatini aniqlash. Adiabatik jarayon. Adiabat ko'rsatkichi.

5.175. 0°C haroratdagi havo adiabatik V_1 hajmdan $V_2=2V_1$ hajmgacha kengaysa, u qanday haroratgacha soviydi?

5.176. $7,5\text{ l}$ kislorod adibatik 1 l hajmgacha siqilgan va siqilishning oxirida bosim $1,6 \cdot 10^6\text{ N/m}^2$ ga teng bo'lgan. Gazning siqilishigacha qanday bosimda bo'lgan.

5.177. Ichki yonuv dvigatelining silindridagi havo adibatik siqiladi va bunda uning bosimi $p_1=1\text{ atm}$ dan $p_2=35\text{ atm}$ gacha o'zgaradi. Havoning boshlang'ich harorati 40°C . Havoning siqilgandan keyingi harorati topilsin.

5.178. Gaz adibatik kengayadi va bunda uning hajmi 2 barobar ortadi, harorati (absolut) esa 1,32 marta pasayadi. Bu gaz molekulasining erkinlik darajasi qanday?

5.179. 27°C harorat va $2 \cdot 10^6\text{ N/m}^2$ bosimda ikki atomli gaz adibatik V_1 hajmdan $V_2=0,5V_1$ hajmdacha siqiladi. Siqilgandan keyingi gazning harorati va bosimi topilsin.

5.180. Normal sharoitda idish porsheni ostida 10^{-4} m^3 hajmda qaldiroq gaz bor. Gaz juda tez siqilganda alanganadi. Gaz siqilganda bajargan ishi $4,73\text{ kJ}$ ga tengligi ma'lum bo'lsa, alangan qaldiroq gazning harorati topilsin.

5.181. Normal sharoitda idish porsheni ostida gaz bor. Idish tubidan porshengacha bo'lgan masofa 25 sm ga teng. Porshenga 20 kG yuk qo'yilganda u $13,4\text{ sm}$ pastga tushgan.

Siqilishini adibatik hisoblab, berilgan gaz uchun $\frac{c_V}{c_P}$ nisbati topilsin. Porshening ko'dalang kesim yuzi 10 sm ga teng; Porshening og'irligi nazarga olinmasin.

5.182. Ikki atomli gaz $p_1=0,5\text{ atm}$ bosimda $V_1=0,5\text{ l}$ hajmni egallaydi. Gaz adibatik biror V_2 hajm va p_2 bosimgacha siqiladi, bundan keyin gaz V_2 o'garmas hajmda boshlang'ich haroratigacha sovitiladi. Bunda uning bosimi $p_0=1\text{ atm}$ ga teng bo'lib qoladi. 1) bu jarayonning grafigi chizilsin. 2) V_2 hajm va p_2 bosim topilsin.

5.183. Gaz adiabatik kengayib, uning bosimi ikki atm dan 1 atm gacha pasayadi. Keyin gaz o'zgaras hajmda boshlang'ich haroratgacha isitiladi, bunda uning bosimi $1,22\text{ atm}$ gacha ko'tariladi. 1) bu gaz uchun $\frac{c_P}{c_V}$ nisbat topilsin. 2) bu jarayonning grafigi chizilsin.

5.184. Normal sharoitda 1 kilomol azot adibatik V_1 hajmdan $V_2=5V_1$ hajmgacha kengayadi. 1) gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 2) kengayishda bajarilgan ish topilsin.

5.185. $1 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3$ havoni $2 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ hajmgacha siqish kerak. Gazni qanday siqish foydali: Adibatikmi yoki izotermikmi?

5.186. Bir kilomol gaz adibatik siqilganda 146 kJ ish bajarilgan. Siqilganda gazning harorati qanchagacha ortgan?

5.187. Ikki atomli gazning hajmi ikki barobar kengaytirilganda gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi necha marta kamayadi?

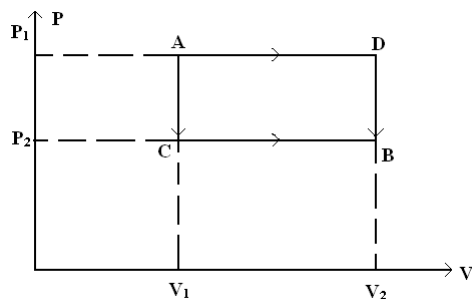
5.188. Normal sharoitda 10 g kislorod $1,4 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ hajmgacha siqiladi. Kislorodning 1) izotermik, 2) adibatik siqilgandan keyingi bosimi va harorati topilsin. Bu hollarning har birida bajarilgan siqish ishi topilsin.

5.189. 40°C haroratda va 750 mm sim. ust. bosimda 28 g azot 13 l hajmgacha siqilgan. Azotning: 1) izotermik, 2) adiabatik siqilgandan keyingi harorati va bosimi topilsin.

5.190. Agar ikki atomli gazning bosimi ikki baravar kamaysa, gaz molekulari erkin yugurish yo'lining uzunligi necha marta ortadi? Quyidagi hollar qarab chiqilsin: 1) gaz izotermik kengayadi 2) gaz adiabatik kengayadi.

5.191. Biri bir atomli, boshqasi 2 atomli har xil gazlar bir xil haroratda bo'lib, bir xil hajmni egallaydi. Gazning hajmi ikki marta kamayguncha adibatik siqilgan. Gazning qaysi biri ko'proq isiydi va necha marta?

5.192. 30°C harorat va $1,5\text{ atm}$ bosimda bo'lgan 1 kg havo adiabatik kengayganda bosimi 1 atm gacha pasayadi. 1) kengayishining darajasi, 2) oxirgi harorati, 3) kengayishda gazning bajargan ishi topilsin.



8-Rasm

5.193. Normal sharoitda 1 kilomol kislorodning hajmi $V=5V_0$ gacha kengaygan. Kengayish: 1) izotermik va 2) adiabatik holda sodir bo'lganida $p=f(V)$ grafigi

tuzilsin. p ning qiymatlari: $V_0, 2V_0, 3V_0, 4V_0$, va $5V_0$ hajmlar ushun topilsin.

5.194. Qandaydir miqdordagi kislorod $t_1=27^\circ\text{C}$ haroratda va $p_1=8,2\cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda $V_1=3 \text{ l}$ hajmni egallaydi (8-rasm). Gaz ikkinchi holatda $V_2=4,5 \text{ l}$ va $p_2=6\cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ parametrlarga ega. Gazning olgan issiqlik miqdori; kengayishda gazning bajargan ishi; gazning ichki energiyasining o'zgarishi topilsin. Masala quyidagi hollar uchun yechilsin: gaz bir holatdan ikkinchisiga: 1) ACB va 2) ADB yo'llar bilan o'tadi.

14-AMALIY MASHG'ULOT: Aylanma siklik jarayonlar va issiqlik mashinasining F.I.K. ini hisoblash. Karno sikligiga doir masalalar yechish

5.195. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklga isitgichdan 600 kkal issiqlik oladi. Isitgichning harorati 400°K , sovutgichning harorati 300°K . Mashinaning bir siklda bajargan ishi va bir siklda sovutgichga bergan issiqlik miqdori topilsin.

5.196. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Agar bir siklda 300kGm ga teng ish bajarilganligi va sovutgichga 3,2 kkal issiqlik berilgani ma'lum bo'lsa, siklning f.i.k. aniqlansin.

5.197. 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.

5.198. 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.

5.199. Ideal issiqlik mashinasi boshlang'ich bosimi 7 atm bo'lgan va 127°C haroratgacha isitilgan havo bilan Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Havoning boshlang'ich hajmi $2\cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Birinchi izotermik kengayishdan keyin havoning hajmi 5 l ga; adiabatik kengayishdan keyin hajmi 8 l ga teng bo'lgan. 1) Izoterma bilan adiabatlar kengayish nuqtasining koordinatalari, 2) siklining har bir qismida bajarilgan ish, 3) butun sikl davomida bajarilgan to'la ish, 4) siklning f.i.k., 5) Bir siklda isitgichdan olingan issiqlik miqdori, 6) bir siklda sovutgichga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.200. Ideal gazning 1 kilomoli ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat yopiq sikilni bajaradi. Bunda gazning hajmi $V_1=25\text{m}^3$ dan $V_2=50\text{m}^3$ gacha va bosimi $p_1=1\text{atm}$ dan $p_2=2\text{atm}$ gacha o'zgaradi. Bunday siklda bajarilgan ish hajmi izotermik kengaytirilganda ikki marta ortgan va izotermalari qarab chiqilayotgan siklning eng yuqori va eng past haroratlariga mos kelgan Karno sikli bo'yicha bajarilgan ishdan necha marta kichik.

5.201. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda $3,7\cdot 10^4 \text{ J}$ ga teng ish bajaradi. Bunda mashina -10°C haroratli jismdan issiqlik olib $+17^\circ\text{C}$ haroratli jisimga issiqlik beradi. 1) siklning f.i.k. 2) bir siklda sovuq jismdan olingan issiqlik miqdori, 3) bir siklda issiq jisimga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

5.202. Ideal sovutish mashinasi teskari karno sikli bo'yicha issiqlik nasosidek ishlaydi. Bunda mashina 2°C haroratli suvdan issiqlik oladi va uni 27°C haroratli havoga beradi. 1) biror vaqt oralig'ida havoga berilgan issiqlik miqdorini shuncha vaqtda suvdan olingan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat η_1 koeffitsiyent, 2) biror vaqt oralig'ida suvdan olingan issiqlik miqdorini shuncha vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyaga bo'lgan nisbatidan iborat η_2 koeffitsiyent, 3) biror vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyani shuncha vaqtda havoga berilgan issiqlik miqdoriga bolgan nisbatdan iborat η_3 koeffitsiyent topilsin. η_1, η_2, η_3 koeffitsiyentlarning o'zaro bog'lanishi topilsin.

5.203. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal sovutish mashinasi 0°C haroratdagi suvli sovutgichdan 100°C haroratdagi suvli qaynatgichga issiqlik o'tkazadi. Qaynatgichda 1 kg suvni bug'ga aylantirish uchun sovutgichda qancha miqdor suvni muzlatish kerak?

5.204. Bino teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan sovutish mashinasi yordamida isitiladi. Xonaning ma'lum miqdor o'tin yoqilgan pechkadan olgan issiqlik miqdori Q_0 ni, o'shancha o'tinni iste'mol qiluvchi issiqlik mashinasi bilan ishlaydigan sovutish mashinasining

xonaga bergan issiqlik miqdori Q_1 bilan solishtiring. Bu issiqlik dvigateli $T_1=100^\circ\text{C}$ va $T_2=0^\circ\text{C}$ haroratlar oralig'ida ishlaydi. Xonaning harorati doimo $T_1=16^\circ\text{C}$ bo'lishi talab qilinadi. Atrofdagi havoning harorati $T_2=-10^\circ\text{C}$.

14-AMALIY MASHG'ULOT: Real gazlar. Kritik parametrlarni aniqlash

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'zgarmas 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, molekullarning o'zaro ta'sir kuchiga bog'liqdir

va $\frac{M}{\mu}b = V_i$ - hajm esa molekullarning 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:

$$a = \frac{27T_k^2 R^2}{64p_k}, \quad b = \frac{T_k R}{8p_k}.$$

Agar keltirilgan kattaliklarni kiritsak:

$$\tau = \frac{T}{T_k}, \quad \pi = \frac{p}{p_k}, \quad \omega = \frac{V_0}{V_{ok}}$$

Bu vaqtda Van-der-Vaals tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi (bir kilomol uchun):

$$\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau.$$

6.1. Van-der-Vaals tenglamasidagi a va b doimiylarning SI sistemasidagi o'lchov birliklari topilsin.

6.2. 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.

6.3. 2 atm bosimda 820 sm³ hajmdagi 2 g azotning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

6.4. 28 atm bosimda 90 sm³ hajmdagi 3,5 g kislorodning harorati qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

6.5. 10⁸ N/m² bosimda 10 g geliy 100 sm³ hajmni egallaydi. Gazni: 1) ideal va 2) real deb hisoblab, uning harorati topilsin.

6.6. 100 °C haroratda 1 kmol karbonat angidrid gazi berilgan. Gazni: 1) ideal va 2) real hisoblab, uning bosimi topilsin. Masalani: a) $V_1=1m^3$ va b) $V_2 = 0,05 m^3$ hajmlar uchun yechilsin.

- 6.7.** $V = 0,5 \text{ m}^3$ hajmli yopiq idishda $3 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ bosimda $0,6 \text{ kmol}$ karbonat anhidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun haroratni necha marta orttirish kerakligi topilsin.
- 6.8.** $t = 27^\circ\text{C}$ haroratda va $p = 10^7 \text{ N/m}^2$ bosimda 1 kmol kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.
- 6.9.** $t = 27^\circ\text{C}$ va $5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ bosimda 1 kmol azot bor. Berilgan sharoitda azotni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.
- 6.10.** Kislorod uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ni ma'lum deb, kislorod molekulasiining effektiv diametri topilsin.
- 6.11.** Azot molekulasiining 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.
- 6.12.** Normal sharoitda karbonat anhidrid gazi molekulasiining 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 molekulasiining effektiv diametri hisoblansin.
- 6.13.** $t = 17^\circ\text{C}$ 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.
- 6.14.** Karbonat anhidrid 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.
- 6.15.** Normal sharoitda bir kilomol gaz molekularining o'zaro ta'sir kuchidan hosil bo'lgan bosim topilsin. Bu gaz uchun kritik harorat va kritik bosim mos ravishda $T_k = 417^\circ\text{K}$ va $p_k = 76 \text{ atm}$ ga teng.
- 6.16.** Vodород uchun molekularining o'zaro ta'sir kuchi juda kichik bo'lib, molekularning xususiy o'lchami asosiy rol ni o'ynaydi. 1) Bunday yarim ideal gazning holat tenglamasi yozilsin. 2) Vodород molekularining xususiy o'lchamini hisobga olmasdan, $t = 0^\circ\text{C}$ haroratda va $p = 2,8 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ bosimda biror hajmdagi vodород molekularining sonini hisoblaganimizda yo'l qo'yiladigan xatolik topilsin.
- 6.17.** 10 l hajmli idishda 27°C haroratda $0,25 \text{ kg}$ azot bor. 1) Molekularning o'zaro ta'siridan hosil bo'lgan bosim gaz bosimining qancha qismini tashkil qiladi? 2) Molekularning xususiy hajmi idish hajmining qancha qismini tashkil qiladi?
- 6.18.** Ba'zi bir gazning $0,5 \text{ kmol}$ $V_1 = 1 \text{ m}^3$ 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.
- 6.19.** 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 ma'lum deb hisoblab (6.2-masalaning javobiga qarang), gazning bunday kengayishidagi haroratning pasayishi topilsin.
- 6.20.** $0,5 \text{ kmol}$ 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.
- 6.21.** 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 kislotaga eng ko'pi bilan qanday hajmni egallaydi? 3) Suyuq karbonat kislotaga to'yingan bug'ining eng katta elastikligi qanday?
- 6.22.** Suvning Van-der-Vaals tenglamasidagi b doimiyni ma'lum deb hisoblab (6.2-masalaning javobiga qarang), kritik holatdagi suv bug'ining zichligi topilsin.
- 6.23.** Geliy uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ning qiymatlarini ma'lum deb hisoblab, kritik holatdagi geliyning zichligi topilsin.
- 6.24.** 920 atm bosimda 1 kmol kislorod $0,056 \text{ m}^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning harorati topilsin.
- 6.25.** $t = -200^\circ\text{C}$ haroratda 1 kmol geliy $V = 0,237 \text{ m}^3$ hajmni egallaydi. Van-der-Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning bosimi topilsin.

6.26. Agar gazning hajmi va harorati bu kattaliklarning kritik qiymatidan ikki marta kattaligi ma'lum bo'lsa, gazning bosimi kritik bosimdan necha marta kattaligi topilsin.

15-AMALIY MASHG'ULOT: Suyuqliklarning sirt tarangli. Kapillyar hodisalar.

7.1. 1V jadvalda turli haroratda fazoni to'yintiruvchi suv bug'ining elastikligi berilgan. Bu ma'lumotlarga asoslanib, turli haroratlarda 1 m^3 havoni to'yintiruvchi suv bug'i miqdori uchun jadvalni qanday tuzish kerak? Misol uchun 50°C haroratda 1 m^3 havodagi to'yingan suv bug'ining miqdori hisoblansin.

7.2. 50°C haroratda to'yingan suv bug'ining zichligi topilsin.

7.3. To'yingan suv bug'ining zichligi 16°C haroratli suvning zichligidan necha marta kam?

7.4. 200°C haroratda to'yingan suv bug'ining zichligi 100°C haroratdagi to'yingan suv bug'ining zichligidan necha marta ortiq?

7.5. Yoz kunida nisbiy namligi 75 % va harorati 30°C bo'lgan 1 m^3 havodagi suv bug'ining og'irligi qancha?

7.6. $V = 1 \text{ m}^3$ yopiq hajmdagi havoning 20°C haroratda nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi suv bug'ining to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?

7.7. Harorati 18°C va nisbiy namligi 50% bo'lgan xonada metall choynakka sovuq suv solingan. Suvning harorati qanday bo'lganda choynak terlamay qoladi?

7.8. 30°C haroratda to'yingan suv bug'ining 1 sm^3 hajmidagi molekular soni topilsin.

7.9. 50°C haroratda 0,5 g suv bug'i 10 l hajmni egallaydi. 1) Bunda nisbiy namlik qanday bo'ladi? 2) Agar hajmni ikki marta izotermik kamaytirilsa, bug'ning qanday miqdori kondensatsiyalanadi?

7.10. Boshlang'ich harorati 20°S hajmi 1 l bo'lgan Vilson kamerasida suv bug'i bilan to'yingan havo bor. Porshen harakatlanganda kameraning hajmi 1,25 marta kengaygan.

Kengayish adiabatik hisoblansin, shu bilan birga $X = \frac{S_p}{S_v} = 1,4$ deb qabul qilinsin. 1) Kengayishga

qadar suv bug'ining bosimi; 2) kengayishga qadar kameradagi bug'ning miqdori; 3) kengayishga qadar suv bug'ining zichligi; 4) kengayishdan keyingi bug'ning harorati (bug'ning kondensatsiyalanishida ajralib chiqqan issiqlik hisobiga haroratning o'zgarish nazarga olinmasin); 5) kondensatsiyalanib suvga aylangan bug'ning miqdori topilsin; 6) kondensatsiyalangandan keyingi suv bug'ining zichligi; 7) o'ta to'yinish darajasi, ya'ni kengayishdan keyingi (lekin kondensatsiyalanishgacha) suv bug'i zichligining kondensatsiyalangandan keyingi haroratda fazoni to'yintiruvchi suv bug'ining zichligiga nisbati topilsin.

7.11. Normal sharoitda suvning suyuq va bug'simon holatidagi solishtirma hajmlari topilsin.

7.12. Termodinamikaning birinchi qonunidan hamda V va VI jadvalda berilganlardan foydalanib 200°C haroratda suvning solishtirma bug'lanish issiqligi topilsin. Suv uchun kritik harorat $T_k = 647^\circ\text{K}$ va kritik bosim $p_k = 217 \text{ atm}$. VII jadvalda berilganlarga asosan olingan natijalarning to'g'riligini tekshiring.

7.13. 100°C haroratda suvning solishtirma bug'lanish issiqligining qancha qismi sistemaning ichki energiyasini orttirishga sarf bo'ladi?

7.14. 77°C haroratda benzol (C_6H_6)ning solishtirma bug'lanish issiqligi 95 kal/g ga teng. Shu haroratda bug'langan 20g benzol ichki energiyasining o'zgarishi nimaga teng?

15-AMALIY MASHG'ULOT: Qattiq jismlarning issiqlik xossalari.

Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi.

8.1. 2 k/mol muz eriganda entropiyaning o'zgarishi 22,2 kJ/grad ga teng. Tashqi bosim $1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga ko'tarilsa, muz erish haroratining qanchaga o'zgarishi topilsin.

8.2. 10^5 N/m^2 bosimda qalayning erish harorati $231,9^\circ\text{C}$ ga, 10^7 N/m^2 bosimda esa u $232,2^\circ\text{C}$ ga teng. Suyuq qalayning zichligi $7,0 \text{ g/cm}^3$. 1 kmol qalay eriganda entropiyaning

o'zgarishi topilsin.

8.3. Bosim 1 kG/sm^2 ga o'zgarganda temirning erish harorati $0,012 \text{ } ^\circ\text{C}$ ga o'zgarsa, temir eriganda bir kilomol hajmining o'zgarishi topilsin.

8.4. Dyulong va Pti qonunidan foydalanib: 1) misning, 2) temirning, 3) aluminiyning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

8.5. Agar $0,025 \text{ kG}$ og'irlikdagi metall sharchani 10°C dan 30°C gacha isitish uchun 117 J issiqlik sarflangan bo'lsa, Dyulong va Pti qonunidan foydalanib, sharcha qanday materialdan yasalganligi topilsin.

8.6. Dyulong va Pti qonunidan foydalanib, aluminiyning solishtirma issiqlik sig'imi platinaning solishtirma issiqlik sig'imidan necha marta ko'pligi topilsin.

8.7. 400 m/sek tezlik bilan qo'rg'oshin o'q devorga uriladi va unda tiqilib qoladi. O'q kinetik energiyasining 10% uni isitishga sarf bo'ladi deb hisoblab, o'qning necha gradusga isiganligi topilsin. Qo'rg'oshining solishtirma issiqlik sig'imi Dyulong va Pti qonunidan topilsin.

8.8. Mis (qalinligi $d_1 = 9 \text{ mm}$) va temir (qalinligi $d_2 = 3 \text{ mm}$) plastinkalar ustma-ust taxlangan. Mis plastinkaning tashqi sirti $t_1 = 50^\circ\text{C}$ o'zgarmas haroratda, temirning tashqi sirti esa $t_1 = 0^\circ\text{C}$ haroratda saqlanadi. Plastinkalar bir-biriga tegib turgan sirtning t_x harorati topilsin. Plastinkalarning yuzi qalinligiga nisbatan juda katta.

8.9. Devor tashqi sirtining harorati $t_1 = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ichki sirtining harorati esa $t_2 = +20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 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.

8.10. Polining yuzi $4 \times 5 \text{ m}$ va balandligi 3 m bo'lgan xona to'rtta g'isht devori orqali bir minutda qancha issiqlik yo'qotadi? Xonaning harorati $t_1 = 15^\circ\text{C}$ tashqi harorat esa $t_2 = -20^\circ\text{C}$. G'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $0,002 \text{ kal/grad}\cdot\text{sm}\cdot\text{sek}$, devorning qalinligi 50 sm . Pol va ship orqali yo'qotilgan issiqlik hisobga olinmasin.

8.11. Temir sterjenning bir uchi $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ haroratda 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.

8.12. Uzunligi 50 sm , ko'ndalang kesimining yuzi 10 sm^2 bo'lgan mis sterjen uchlaridagi haroratlarning farqi 15°C bo'lsa, 1 sek da undan o'tgan issiqlik miqdori topilsin. Issiqlikning isrofi nazarga olinmasin.

8.13. Suv to'ldirilgan 15 sm diametrli aluminiy kastrulka plitaga qo'yilgan. Suv qaynab har minutda 300 g suv bug'i hosil bo'ladi. Agar kastrulka tubining qalinligi 2 mm bo'lsa, kastrulka tubi tashqi sirtining harorati topilsin. Issiqlikning isrofi nazarga olinmasin.

8.14. 9 sm radiusli metall silindrik idishga 0°C haroratli muz to'ldirilgan. Bu idish 1 sm qalinlikdagi po'kak qatlami bilan issiqlikdan muhofazalangan. Agar tashqi havoning harorati 25°C bo'lsa, idishdagi muz qancha vaqtda eriydi? Issiqlik faqat o'rtacha radiusi $9,5 \text{ sm}$ bo'lgan idishning yon sirti orqali kirib turadi deb hisoblansin.

8.15. Ko'ndalang kesimining yuzi $S = 10 \text{ sm}^2$ bo'lgan sterjenni $t_1 = 0^\circ\text{C}$ dan $t_2 = 30^\circ\text{C}$ gacha isitganda cho'zilmasligi uchun, uning uchlariga qanday kuch qo'yilishi kerak?

8.16. 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.

8.17. 150°C haroratli mis sim ikkita qo'zgalmas devor orasiga tarang qilib tortilgan. Soviganda sim qanday haroratda uziladi? Guk qonuni simning uzilishiga qadar o'rinli deb hisoblansin.

TAJIRIBA MASHG'ULOTLARI UCHUN MATERIALLAR

HAVFSIZLIK TEXNIKASI QOIDALARI

Laboratoriya ishini bajarishda quyidagilarga e'tiborni qaratish lozim:

- Ish jarayonida faqat toza, quruq va butun, ishga yaroqli asbob va jihozlardan foydalanish lozim.
- Asbob va jihozlardan foydalanishdan oldin ularning yo'riqnomasi bilan mukammal tanishib chiqish kerak.
- Elektr o'lchov asboblarini o'qituvchining ruxsatisiz tok manbaiga ulash mumkin emas.
- Laboratoriya ishining elektr sxemasini yig'ishda xatolikka yo'l qo'yib bo'lmaydi, aks holda, asbob ishdan chiqishi va o'qituvchining hayotiga xavf tug'dirishi mumkin.
- Asbob va jihozlarni stolga uning yo'riqnomasida ko'rsatilgandek holatda o'rnatish lozim (yotqizilgan, tik, burchak ostida va h.).
- Har bir laboratoriya ishini yig'ib bo'lgandan so'ng, uni albatta o'qituvchi ko'rib chiqishi va uning ruxsati bilan tok manbaiga ulanishi shart.
- Laboratoriya ishini bajarib bo'lgach, elektr o'lchov asboblarini tok manбайдan uzishni esdan chiqarmaslik zarur.
- Idishlarda suyuqliklarni qizdirish uchun ularning 1/3 qismigacha suyuqlik quyish maqsadga muvofiq.
- Moddalar shisha idishlarda qizdirilganda ularni quruq yonilg'i alangasiga tekkizmaslik kerak (chunki idishga darz ketib sinishi mumkin).
- Quruq yoqilg'ini ishlatib bo'lgach, uni maxsus qopqoq bilan berkitib o'chirish lozim.

Man etiladi:

- Asbob va jihozlarni ularning yo'riqnomasi bilan tanishmasdan ishlatishga urinish.
- Asbob va jihozlarni o'qituvchi yoki laborantning ruxsatisiz olib ishlatish.
- Elektr o'lchov asboblariga suv va boshqa suyuqliklar sepish, o'qituvchining ruxsatisiz ularni tok manbaiga ulash va ularning qisqichlarini qo'l bilan ushlab qat'iyman man qilinadi.
- Tajriba jarayonida asbob va jihozlarni joylashgan taglikka o'tirish, har xil buyumlar qo'yish va unga kuch bilan zarba berish.
- Asbob va jihozlarni begonalarning foydalanishi uchun berish.
- Asbob va jihozlarni yoki ortiqcha buyumlarni olib ketish.

TAJIRIBA XATOLIKLARINI ANIQLASH

Fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari vaqtida turli xil fizik kattaliklarni o'lchash zarur bo'ladi.

O'lchash deb, o'lchanayotgan kattalikni birligi qilib qabul qilingan qiymati bilan solishtirish jarayoniga aytiladi. M: laboratoriya xonasining uzunligi 10 m deyilsa, uning uzunligi 1 m dan 10 marta kattaligi tushuniladi.

Talaba fizikadan laboratoriya mashg'ulotlarida bevosita va bilvosita o'lchashlarni bajaradi.

Bevosita o'lchashlarga – o'lchamlarni jihozlarni yordamida aniqlash tushuniladi. M: uzunlik - chizig'ichda, og'irlik – tarozida, tok kuchi ampermetda, va hokazo.....

Bilvosita o'lchash – bevosita o'lchashdan olingan natijalarni biror kerakli formulaga qo'yib hisoblash tushuniladi.

Istalangan kattalikning haqiqiy qiymati va o'lchashdan olingan taqribiy qiymati orasidagi farq (ayirma) o'lchash xatoligi deb yuritiladi.

O'lchashda yo'l qo'yiladigan xatoliklar quyidagi turlarga bo'linadi.

1. Qo'pol xatoliklar yoki yanglishishlar – tajriba olib boruvchining e'tiborsiz ishlashi tufayli (qurilmaning ko'rsatishini noto'g'ri ko'rish) yuzaga keladigan xatolar.

2. Sistematik xatoliklar – biror sabab ta'sirida yuzaga keladigan takrorlanuvchi (tarozi ko'rsatkichining nol' nuqtada turmasligi) xatolar.

3. Tasodifiy xatoliklar – kutilmagan sabablarga ko'ra (bino ichida haroratning ko'tarilib yoki pasayib ketishi) yuzaga keladigan har qaysi o'lchashda turlicha sabablarga ko'ra, yo'l qo'yiladigan xatolar.

BEVOSITA O'LCHASHLARNING TASODIFIY XATOLIKLARINI ANIQLASH

Ma'lumki, biror kattalikning o'lchangan qiymati, uning haqiqiy qiymatidan farq qiladi.

Biror kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashish uchun ayrim o'lchashlarda topilgan natijalarning o'rta arifmetik qiymati hisoblanadi

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Har qaysi o'lchash natijasi kattalikning o'rtacha arifmetik qiymatidan farq qiladi. Birorta o'lchash natijasining o'rtacha arifmetik qiymatidan ayirmasi (farqi) shu o'lchashning absolyut xatoligi deyiladi.

$$\Delta x_1 = |x_1 - x_{o'r}|$$

$$\Delta x_2 = |x_2 - x_{o'r}|$$

.....

$$\Delta x_n = |x_n - x_{o'r}|$$

$$\Delta x_{o'r} = (|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|) / n \quad (2)$$

O'lchash xatoligini to'laroq xarakterlash maqsadida nisbiy xatolik tushunchasi kiritiladi. Ayrim o'lchashning nisbiy xatoligi deb shu o'lchash absolyut xatoligi Δx ning, kattalikni o'lchashda topilgan qiymati x ga nisbatiga aytiladi va E_x bilan belgilanadi.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \quad (3)$$

(3) dan ko'rinadiki, o'lchashning nisbiy xatoligi o'lchamsiz sonidir.

O'lchashlarning nisbiy xatoligi odatda % larda ifodalanadi.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Odatda o'lchashlarning o'rtacha nisbiy xatoligi hisoblanadi.

O'rtacha absolyut xatolik $\Delta x_{o'r}$ ning o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha arifmetik qiymati $x_{o'r}$ ga nisbatini o'rtacha nisbiy xatolik deb ataladi.

Juda aniq o'lchash zarur bo'lmagan hollarda 5% gacha nisbiy xatolikka yo'l qo'yish mumkin deb hisoblanadi.

MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI

Kadrlar tayyorlash milliy dasturida ta’kidlanganidek, “Inson, uning har tomonlama uyg‘un kamol topishi va farovonligi, shaxs manfaatlarini ro‘yobga chiqarishning sharoitlarini va ta’sirchan mexanizmlarini yaratish, eskirgan tafakkur va ijtimoiy xulq-atvorning andozalarini o‘zgartirish Respublikada amalga oshirilayotgan iqtisodiy islohatlarning asosiy maqsadi va harakatlantiruvchi kuchidir. Xalqning boy intellektual merosi, umumbashariy qadriyatlar asosida, zamonaviy madaniyat, iqtisodiyot, fan, texnika va texnologiyalarning yutuqlari asosida kadrlar tayyorlashning mukammal tizimini shakllantirish O‘zbekiston taraqqiyotining muhim shartidir”.

Ma’lumki, mamlakatimiz oliy ta’lim muassasalarida barcha fanlar qatori “Molekular fizika” fanini o‘qitish jarayonida innovatsiyalar va ilg‘or xorijiy tajribalarni qo‘llash bugungi kunning dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi. Adabiyotlar tahlili ko‘rsatishicha, “Molekular fizika” fanini o‘qitishda bugungi kunda rivojlangan xorijiy va MDH mamlakatlarida quyidagi innovatsiyalar va pedagogik ta’lim texnologiyalari qo‘llanilmoqda:

- ikki kishilik;
- aralash uchlik;
- karusel;
- kichik guruhlarda ishlash;
- tugallanmagan so‘zlar;
- aqliy hujum;
- echimlar daraxti;
- ishbilarmonlik o‘yinlari;
- rolli o‘yinlar;
- diskussiya;
- debatlar va hokazolar.

Ushbu texnologiyalarning barchasi o‘ziga xos xususiyatga ega bo‘lib, ular talabalarni fanni o‘zlashtirishlarini kafolatlaydi va yuqori samara beradi.

Mamlakatimizda ta’lim tizimida amalga oshirilayotgan islohotlar demokratik ta’lim tizimiga asoslangan bo‘lib, unda olg‘a surilayotgan g‘oyalar shaxsning ma’naviy, huquqiy madaniyatini insoniyat erishgan barcha yutuqlar asosida qurish, ta’lim tizimini shakllantirishda milliy va umuminsoniy qadriyatlar ustuvor bo‘lishiga erishish, jamiyatga har tomonlama etuk kadr tayyorlash ishiga qaratilgandir.

Ana shu vazifalarni ijobiy hal etish natijasida aqlan yetuk, axloqan barkamol, jismonan sog‘lom, dunyoqarashi keng va teran, yaxlit shakllangan, ya’ni komil inson shakllanadi.

Oliy ta’lim muassasalarida amalga oshirilayotgan o‘quv jarayoni talabalarni shaxs sifatida shakllanishi, intellektual, axloqiy jihatdan rivojlanishlari uchun qulay sharoitlarni keltirib chiqaradi. Mavzuni yoritib berishda o‘qituvchi qo‘yidagi shartlarga muvofiq harakat qilishi talabalarning nazariy bilimlarni o‘zlashtirishi, amaliy ko‘nikma va malakalarni egallashlari uchun zarur sharoit yaratadi. CHunonchi, “O‘zbekiston – yagona Vatan” mavzusini seminar mashg‘ulotlarida talabalarga etkazishda aniq maqsadni belgilash, didaktik shartlar (ta’lim shakli, metod va vositalarining maqbul variantini tanlay olishi, ular o‘rtasida o‘zaro aloqadorlik va uyg‘unlikni ta’minlanishiga erishish, o‘quv jarayonini tashkil etish va bilimlarni o‘zlashtirish uchun zarur bo‘lgan vaqt hajmini aniq belgilash), talabalarga mavzuni faqat nazariy jihatdan ifodalash bilan cheklanib qolmasdan ma’naviy ahloqiy sifatlarini tarkib topishini, shaxs sifatida rivojlanishlarini, guruhda ijodiy, ishchanlik kayfiyatini yarata olish kabi hususiyatlarni shakllantirish lozim.

Talaba esa o‘z navbatida mavzuning mohiyatini anglab etishi, nazariy bilimlar va ularga muvofiq amaliy ko‘nikma hamda malakalarni o‘zlashtirishga nisbatan ichki extiyoj, qiziqishning qaror toptirilishi, mavzuni o‘zlashtirgani holda o‘zida amaliy faoliyatda qo‘llay olishi, mavzu bo‘yicha berilgan topshiriqlarni o‘z vaqtida sifatli bajarishi, olgan nazariy bilimlarini mustaqil

faoliyat olib borish orqali mustahkamlashi lozim.

Hozirgi kompyuter texnologiyalar asrida ta'limning reproduktiv metod va vositalari jamiyatga shiddat bilan kirib kelayotgan axborot oqimini to'liq o'zlashtira olmayapti. SHu bois, ta'limni jadallashtirish, taraqqiy ettirish va samaradorligini oshirish uchun an'anaviy ta'limga har tomonlama yordam beradigan zamonaviy pedagogik texnologiyalardan foydalanish zarurligini davrning o'zi taqozo etmoqda.

Demak, zamonaviy pedagogik texnologiya hozirgi kun pedagogikasining shartlari, barcha talablariga javob beradigan ta'limiy tadbir va dastur hisoblanadi.

Mavzuni yoritishda o'qituvchidan pedagogik, didaktik bilimlarni chuqur o'rganish, yuzaga kelayotgan vaziyatlar mohiyatni tezkor sur'atda baholay olish, ularning echimini topish layoqati, talabalarning yosh va psixologik xususiyatlarini inobatga olish, talabalarni o'quv faoliyatini nazorat qilish va haqqoniy baholay olish malakasiga ega bo'lishni taqozo etadi.

Mavzuni o'qitishda innovatsion texnologiyalar qo'llanishi talabalarni tizimli ijodiy fikrlashini va ijodiy masalalarni echishda standart g'oya, fikrlarni bildirish qobiliyatlarini shakllantirishga qaratilgan texnologiyalardir.

Pedagogik texnologiya – bu ta'limga bo'lgan innovatsion yondashuv bo'lib, bu pedagogikadagi ta'limga bo'lgan yondashuvning ifodasi, ta'lim jarayonini ma'lum darajada standartlashtirish hisoblanadi va bu tushuncha kompyuterlashtirish bilan bog'liq amalga oshiriladi.

Zamonaviy ta'limda o'zaro muloqot pedagogik texnologiya asosini tashkil qilib, o'quv jarayonini to'liq qamrab olishi kerak. Bunda "faollik" tushunchasi etakchi hisoblanadi. CHunki reproduktiv ta'limda o'quvchi-talabalarni faqat tayyor bilimlarni egallashga o'rgatilgan va o'qituvchi ma'ruzada bergan bilimni seminar, amaliy mashg'ulotlarda qaytarib olgan. Bundan farqli o'laroq, zamonaviy texnologiyalar o'quvchi-talabalarni egallayotgan bilimlarini o'zlari qidirib topishlariga, mustaqil o'rganib, tahlil qilishlariga, xulosalarni ham o'zlari keltirib chiqarishlariga o'rgatadi. Bunda pedagog shaxsning rivojlanishi, shakllanishi, bilim olishi va tarbiyalanishiga sharoit yaratadi va shu bilan bir qatorda boshqaruvchilik, yo'naltiruvchilik, maslahatchi, baholovchi vazifalarini bajaradi. Demak, zamonaviy - produktiv ta'lim jarayonida o'quvchi–talaba asosiy ijrochiga aylanadi.

Interfaol metodlar - o'zaro fikr almashishga, o'zaro fikrlarni to'ldirishga, goh noverbal, goho verbal ta'sir o'tkazishga qaratilgan harakatlar majmuasidir. Interfaol metodlarni qo'llashda o'zaro ta'sir asosiga qurilgan intellektual harakatlar shunchaki ta'sir yoki turtki vazifasini bajarish bilan cheklanib qolmaydi va hamkorlik subektlarini ijodiy izlanishga yo'naltirish, noma'lum holatni ochishga(kashf etishga) ko'mak beruvchi nazariy-aqliy mulohazalarni yaratish funksiyalarini ham bajarishi mumkin.

"MOLEKULAR FIZIKA" fanini o'qitishda noan'anaviy metodlardan biri "Aqliy hujum" metodidan foydalanish ham mashg'ulot o'tkazishda ijobiy natijalarga olib keladi. Bu metod amerikalik olim Osborn tomonidan taklif qilingan va hozirgi kunda "aqliy hujum"ning bir necha usullari ishlab chiqilgan. Bu metodning nomidan ma'lumki, aql vositasida bitta muammoga hujum uyushtiriladi. Hamma ishtirokchilar birgalikda bir hodisaga yoki bir muammoga fikr qaratadi va uning echimini topishga harakat qiladi. Demak, "Aqliy hujum" jamoa g'oyalarini yig'ishdir. Maqsad xilma-xil g'oyalarni yig'ish, mustaqil fikrlash, ijodiy masalani mustaqil echishdir.

"Aqliy hujum" 15 minutdan bir soatgacha davom etishi mumkin. Barcha g'oyalar ekspertlar tomonidan yig'ib olinadi va eng manzurlari tanlab olinadi.


Aqliy hujum metodining maqsadi talabalarda ijodiy, standart fikrlash qobiliyatlarini shakllantirish. Bu metodni katta yoki kichik guruhlarda qo'llash mumkin. Bu metodni qo'llashda dastlab guruh yig'iladi, ular oldiga olib boriladigan mashg'ulotga qarab muammoli savol qo'yiladi. Auditoriyada bo'lgan barcha talabalar savol bo'yicha o'z fikrlarini bildiradilar, bu bosqichda hech kim o'zga kishini g'oyalariga hujum qilmaydi yoki munosabat bildirmaydi. Bunday usul vositasida ko'plab, xilma-xil g'oyalarni yuzaga kelish imkoni paydo bo'ladi. Buning uchun esa mashg'ulot olib borilayotgan auditoriyada talabalar faol bo'lishi, talabalar tomonidan ilgari surilgan g'oyalar tanqid ostiga olinmasligi, muammo echimidan uzoqroq g'oyalar ham qo'llab quvvatlanadi, o'qituvchi talabalar tomonidan bildirilgan g'oyalarni doskaga

yoki qog'ozga qayd etadi. Bu metod samarasi fikrlarning xilma-xilligi bilan tasniflanadi.

Navbatdagi bosqichda muammoning echimiga yaqin bo'lgan 5-6 ta asosiy g'oyalar tanlab olinib, baholanadi. "Aqliy hujum" metodi qo'llanilishiga ko'ra universal bo'lib, o'quv materiallarini tezkor o'zlashtirish, faol fikrlash va keng doirada tafakkur yuritishga imkon beradi.

Umumiy talablardan kelib chiqqan holda "Aqliy hujum" metodidan foydalanish bosqichlarini quyidagi texnologik xaritasini ko'rsatish mumkin.

Ushbu metod ta'lim jarayonida yuqori samara beradi. Bunda muammo sifatida "MOLEKULAR FIZIKA" fanini yorituvchi biror savolni berish mumkin. Masalan, Haydalgan tuproq bilan haydalmagan tuproqning solishtirma issiqlik sig'imi nimaga har xil?

 Bahorda navro'z taomi-sumalakni pishirishda ko'pgina urf-odat va an'analar bor. Bu urf-odatlarining ko'pchiligi shu vaziyatda paydo bo'lgan muammoni bartaraf etgan. Savol:

Nima uchun sumalak pishirishda qozonga tosh solib kavlanadi?

Bu qanday muammoni bartaraf etgan?

"Aqliy hujum" usulining texnologik xaritasi

Ish bosqichlari va mazmuni	Faoliyat	
	O'qituvchi	Talaba
1-bosqich. Tayyorlov	Mavzuni aniqlaydi, maqsadni belgilaydi, baholash mezonini shakllantiradi	Ishtirok etmaydi
2-bosqich. Kirish	Mavzu maqsadi, baholash mezonini e'lon qiladi	Metod shartlarini o'rganadi
3-bosqich. G'oyalarni kiritish	G'oyalarni yozib oladi va yozib olishni taklif qiladi	Muammoni hal etuvchi g'oya va takliflar yuzasidan mulohaza yuritadi
4-bosqich. Tahlil	Taklif qilingan g'oyalarni tahlil qilishni tashkil etadi	Bildirilgan g'oya, takliflarni guruh bo'lib tahlil qiladi, saralaydi. Eng qulay va maqbullarini aniqlaydi.
5-bosqich. Yakun yasash va baholash	Talabalar tomonidan bajarilgan faoliyatni yakunlaydi, tahlil qiladi va baholaydi	Xulosani qunt bilan eshitadi (talaba o'ziga o'zi baho berishi ham mumkin).

Ta'lim metodlarini takomillashtirish sohasidagi asosiy yo'nalishlardan biri interfaol ta'lim va tarbiya usullarini joriy qilishdan iborat. Interfaol usullarni qo'llash natijasida talabalarni mustaqil fikrlash, tahlil qilish, xulosalar chiqarish, o'z fikrini bayon qilish, uni asoslagan holda himoya qila bilish, sog'lom muloqot, munozara, bahs olib borish ko'nikmalari shakllanib, rivojlanib boradi.

Kadrlar tayyorlash milliy dasturida ta'kidlanganidek, "Inson, uning har tomonlama uyg'un kamol topishi va farovonligi, shaxs manfaatlarini ro'yobga chiqarishning sharoitlarini va ta'sirchan mexanizmlarini yaratish, eskirgan tafakkur va ijtimoiy xulq atvorning andozalarini o'zgartirish Respublikada amalga oshirilayotgan iqtisodiy islohatlarning asosiy maqsadi va harakatlantiruvchi kuchidir. Xalqning boy intellektual merosi, umumbashariy qadriyatlar asosida, zamonaviy madaniyat, iqtisodiyot, fan, texnika va texnologiyalarning yutuqlari asosida kadrlar tayyorlashning mukammal tizimini shakllantirish O'zbekiston taraqqiyotining muhim shartidir".

XXI asrda O'zbekistonda ta'lim tizimini isloh qilish va takomillashtirish ustivor vazifalardan biridir. Bu esa, o'z navbatida professor-o'qituvchilarimiz zimmasiga tegishli o'quv fanlari bo'yicha o'quv adabiyotlarini hozirgi davr talabi va ilm-fanning so'nggi yutuqlarini hisobga olgan holda yangilab borish, ta'lim jarayoniga innovatsiya va ta'lim texnologiyalarini joriy etishni taqozo etmoqda.

Bugungi kunda amaliyotda yangilik va innovatsiya so'zlari o'rtasida farqlar mavjud. Yangilik bu fandagi eng so'nggi yutuqlar, bilimlar, usullar hisoblanadi. Ushbu yutuqlar, bilimlar,

usullar amalda qoʻllanilishi bilan innovatsiyaga aylanadi. Innovatsion texnologiyalar talabalarning faol hayotiy munosabatlarini shakllantirishga qaratilgan. Ularga oʻquv jarayonidagi yangi shakldagi interaktiv usullar kiradi. Talabalar dars jarayonida mavzuni oʻzlashtirish uchun tavsiya etiladigan interfaol metodlardan yana biri B/B/B texnologiyasidir.

Mavzuni mustahkamlash uchun B/B/B jadvalidan foydalanish mumkin.



B/B/B JADVALI – Bilaman/Bilishni xohlayman/Bilib oldim. Mavzu, matn, bilim boʻyicha izlanuvchanlikni olib boorish imkonini beradi.

Tizimli fikrlash, tuzilmaga keltirish, tahlil qilish koʻnikmalarini rivojlantiradi.

Talabalar:

1. Jadvalni tuzish qoidalari bilan tanishadilar. Alohida, kichik guruhlarda jadvalni rasmiylashtiradilar.
2. “Mavzu boʻyicha nimalarni bilasiz” va “Nimani bilishni xohlaysiz” degan savollarga javob beradilar. Jadvalning 1 va 2 boʻlimlarini toʻldiradilar.
3. Matnni tinglaydilar, mustaqil oʻqiydilar.
4. Mustaqil, kichik guruhlarda jadvalning 3-boʻlimini toʻldiradilar.

B\B\B jadvalini toʻldiring.

Matnni belgilash tizimi

(B) - Bilaman (-) - Bilishni xohlayman (+) - Bilib oldim

Tushunchalar	B	-	+
Ideal gazning issiqlik sigʻimi			
Solishtirma issiqlik sigʻimi, Molar issiqlik sigʻimi			
Gazning ichki energiyasi			
Termodinamikaning 1-qonuni			
Gazning oʻzgarmas bosim va oʻzgarmas hajmdagi issiqlik sigʻimi			
Mayer tenglamasi			

XXI asrda Oʻzbekiston taʼlim tizimini isloh qilish va takomillashtirish ustivor vazifalardan biri sifatida belgilangan. Bu esa, oʻz navbatida boshqa fanlarda boʻlganidek, fizika oʻqituvchilari zimmasiga tegishli oʻquv fanlari boʻyicha oʻquv adabiyotlarini hozirgi davr talabi va ilm-fanning soʻnggi yutuqlarini hisobga olgan holda yangilab borish, taʼlim jarayoniga

innovatsiya va ta'lim texnologiyalarini joriy etishni taqozo etmoqda.

Bugungi kunda amaliyotda yangilik va innovatsiya so'zlari ishlatilmokda. Yangilik bu fandagi eng so'nggi yutuqlar, bilimlar, usullar xisoblanadi. Ushbu yutuqlar, bilimlar, usullar amalda qo'llanilishi bilan innovatsiyaga aylanadi.

"Kadrlar tayyorlash milliy dasturi"da ta'kidlaganidek, "Zamonaviy iqtisodiyot, fan, texnika va texnologiyalarni rivojlantirish asosida kadrlar tayyorlashning takomillashgan tizimini rivojlantirish asosida kadrlar tayyorlashning takomillashgan tizimini yaratish-mamlakatni tarakkiy ettirishning eng muhim sharti hisoblanadi.

Shuningdek, mavzuni mustahkamlash uchun FSMU jadvalidan foydalanish mumkin.

Ushbu texnologiya munozarali masalalarni hal etishda, bahs-munozaralar o'tkazishda (yoki o'quv-semenar yakunida talabalarning o'quv mashg'ulotlari hamda o'tilgan mavzu va bo'limdagi ba'zi mavzular, muammolarga nisbatan fikrlarini bilish maqsadida) qo'llanilishi mumkin. Bu texnologiya talabalarni o'z fikrini himoya qilishga hamda o'z fikrini boshqalarga o'tkazishga, ochiq holda bahslashishga, shu bilan birga bilimlarni tahlil etishga va egallanganlik darajasini aniqlashga, baholashga hamda bahslashishga o'rgatadi.

Texnologiyaning maqsadi: ushbu texnologiya talabalarni tarqatilgan oddiy qog'ozga o'z fikrlarini aniq va qisqa holatda ifoda etib, tasdiqlovchi dalillar yoki inkor etuvchi fikrlarni bayon etishga yordam beradi.

O'quv mashg'ulotini o'tkazish tartibi:

o'qituvchi har bir talabaga FSMU texnologiyasining to'rt bosqichi yozilgan qog'oz varaqlarini tarqatadi va yakka tartibda ularni to'ldirishni iltimos qiladi;

o'qituvchi talabalar bilan bahs mavzusini belgilab oladi;

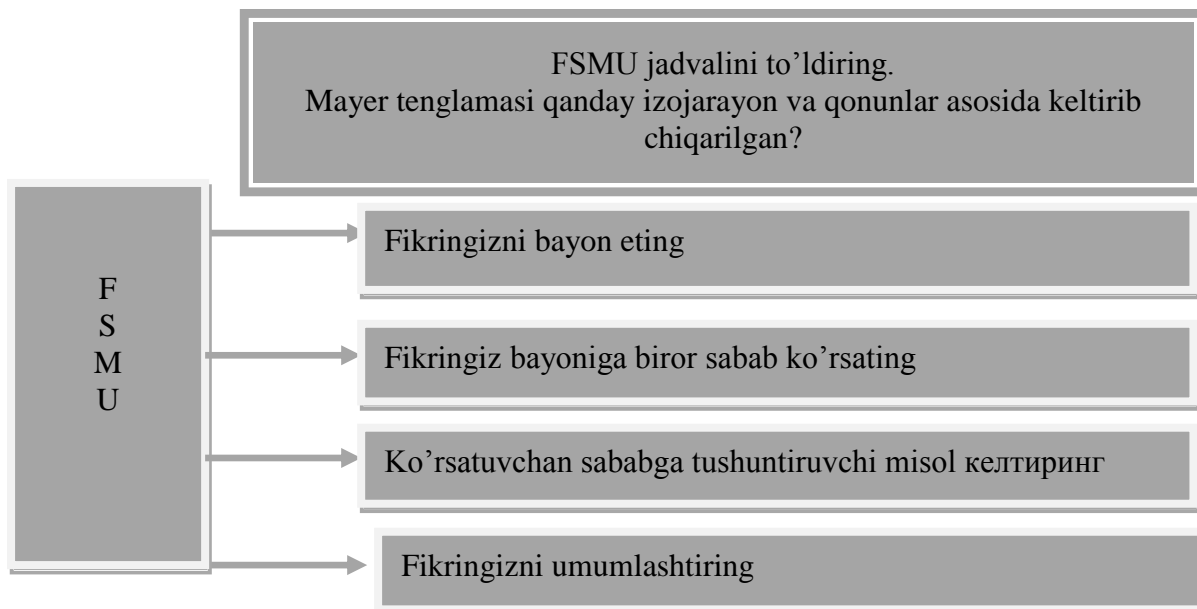
yakka tartibdagi ish tugagach, talabalar kichik guruhlariga ajratiladi va o'qituvchi kichik guruhlariga FSMU texnologiyasining to'rt bosqichi yozilgan katta qog'oz varaqlarini tarqatadi;

kichik guruhlarning har bir a'zosi berilgan tarqatma materiallarda yakka tartibda yozilgan fikr va dalillarni katta farmatda umumlashtirgan holda to'rt bosqich bo'yicha yozishlarini taklif etadi;

o'qituvchi kichik guruhlarning yozgan fikrlarini jamoa o'rtasida himoya qilishlarini so'raydi;

mashg'ulot o'qituvchi tomonidan muammo bo'yicha bildirilgan fikrlarni umumlashtirish bilan yakunlanadi.

Tarqatma materialning taxminiy nusxasi



Demak, samarali innovatsion metodlardan yana biri kichik guruhlarda ishlash hisoblanadi. Kichik guruhlarda interfaol metodlarni qo'llash ko'proq samara beradi.

Bunda:

- alohida e'tibor amaliy, laboratoriya mashg'ulotlarda ishlashga qiyin moslashadigan o'quvchilarga beriladi. Guruh soni besh kishidan oshmasligi lozim;

- guruh faoliyati o'qituvchi tomonidan nazorat qilinadi, ko'nikmalar aniqlanadi;
- barcha fikrlar e'tiborga olinadi;
- boshqalarning fikri hurmat qilinadi;
- hamkorlik ustuvorlik qilishi lozim.

Bu metod quyidagi jihatlarni o'z ichiga oladi:

- talabalar qay darajada bilim va ko'nikmalarga ega ekanliklari aniqlanadi;
- kichik guruhlarda ishlash talablariga qat'iy amal qilinadi;
- bir-birini hurmat qilish;
- ta'limning ijtimoiy jihatlari e'tiborda bo'ladi va boshqalar.

Bunda pedagog:

- mashg'ulot maqsadini aniq tushuntiradi;
- jamoaning psixologik xususiyatlarini hisobga oladi;
- qo'llayotgan metodlarni o'zi puxta bilishi shart;
- eng asosiysi, pedagog muomala madaniyatiga e'tiborini qaratishi lozim.

Ta'lim-tarbiya jarayonida psixologik-pedagogik aql-zakovat, kasb qobiliyati, pedagogik texnika uchligi pedagogning faoliyatida o'ta muhim ahamiyatga ega.

MINI KEYSLAR



Bahorda navro'z taomi-sumalakni pishirishda ko'pgina urf-odat va an'analar bor. Bu urf-odatlarining ko'pchiligi shu vaziyatda paydo bo'lgan muammoni bartaraf etgan. Savol:

Nima uchun sumalak pishirishda qozonga tosh solib kavlanadi?

Bu qanday muammoni bartaraf etgan?

Issiq ovqatni temir qoshiq bilan ichgan ma'qulmi yoki yog'och qoshiq bilanmi?

Nima uchun avtomobil motoriga moy quyiladi?

Kadrlar tayyorlash muammosining samarali echimi birinchi navbatda bugungi kun talablariga javob bera oladigan, professional malakaga, xar tomonlama chukur bilimga ega bo'lgan o'qituvchi kadrlar tayyorlanishi bilan bog'likdir. SHu munosabat bilan O'zbekiston Respublikasining Prezidenti I. A. Karimov Oliy Majlisning IX sessiyasida ta'kidlab o'tganidek: «Domlalar, professorlar, kafedra mudirlari o'z ustida ishlamasa, o'z soxasi bo'yicha chet mamlakatlarga ilmiy safarlarga borib kelmasa, tajriba almashtirilmasa, albatta, bunday axvol o'quv jarayoniga va uning samarasiga salbiy ta'sir qiladi». Xalkaro tajribani, mavjud kadrlar tayyorlash tizimining axvoli va muammolarini tahlil qilish asosida uning prinsip jixatdan yangi modeli ishlab chiqildi.

Rivojlangan mamlakatlar tajribasi shuni ko'rsatib turibdiki, yukori malakali, rakobatbardosh kadrlar tayyorlashda kuyidagilar xal qiluvchi axamiyat kasb etar ekan:

Ta'lim, fan va ishlab chikarishning o'zaro samarali alokadorligi.

Ta'lim korxonolari va professional ta'lim dasturlari turlarining xilma-xilligi, ularning fan va texnikaning eng sunggi yutuklari, iktisodiyot va texnologiyalarning eng yukori andozalari va ko'rinishlaridan foydalanish.

Professional ta'lim tizimini ustuvor va foyda keltiruvchi iktisodiy tarmokka aylantish.

Ta'lim muassasalarini zamonaviy o'quv-metodik adabiyotlar bilan ta'minlash va ularning moddiy-texnik bazasini yaratish xamda ularning moliyaviy ko'rsatkichlarini mustaxkamlash.

Professional ta'lim tizimiga eng yukori malakali o'qituvchilarni va mutaxassilarni jalb ettirish.

O'quv jarayonini axborotlashtirish va kompyuterlashtirish.

Kadrlar tayyorlashning sifat baxosini va ob'ektiv nazorat tizimini qo'llash.

SHaxsning rivojlanishi, o'lchovi, sifat va xulkini, qobiliyat intellektini baholash va kasbiy maxorati muammolariga bag'ishlangan psixologik-pedagogik izlanishlarni bajarish.

O'qituvchilarni yukori darajada moddiy rag'batlantirish va ularni ijtimoiy himoya qilish. Xorij tajribasida pedagogik faoliyatda bir qancha tushunchalar ishlatilmokda. Ulardan ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

Tyuter - (lot. tutorem – maslahatchi) faoliyati talabalarga o'quv jarayoniga moslashish, vujudga keluvchi ayrim savollarga javob topishga yordamlashishga qaratilgan.

Edvayzer- (advisor - qadimgi franso'z so'zi "avisen", "o'ylamoq" so'zidan olingan) individual holda diplom ishi, kurs ishini ishlab chiqish, ilmiy-tadqiqot olib borish, individual dasturlarni ishlab chiqish jarayonida maslahatchidir.

Fasilitator (ingl. facilitator, lot. facilis — «engil, qulay» degan ma'noni bildiradi) — fasilitator guruhlarda faoliyatni tashkil etishda ko'maklashadi. U guruhlardagi faoliyatni samarali bo'lishini ta'minlashi, guruhda sohlom komunikatsiyani o'rnatishi, guruhda ishlash qoidalariga va regamentlarga amal qilishni ta'minlashi joiz. Fasilitator guruhda qulay psixologik muhitni yaratadi va faoliyatni samarali bo'lishiga yordam beradi. Fasilitator faoliyati turli modellarda uchraydi. Fasilitator faoliyati har qanday treningning tarkibiga kiradi. Turli amaliy faoliyatlarni onlayn tizimida, guruhlarda tashqil etish jarayonida fasilitatorlik xususiyatlari o'z aksini topadi.

Moderator - (lot moderor — me'yorlashtiraman, tekshiraman) qabul qilingan qoidalarga amal qilishni tekshiradi, talabalarning qobiliyatlarni ochilishiga, bilish faoliyatini aktivlashtirishga yordam beradi.

Supervizor- quyidagi to'rt fazifani bajaradi: o'qituvchi sifatida o'rgatadi, fasilitatorlik, maslahatchi, ekspert vazifani bajaradi.

Superviziya — bu o'zaro munosabatlar tizimi bo'lib, supervizor tomonidan kasbiy faoliyatga oid boshqa mutaxassisga maslahatlar berishni ko'zda tutadi. Bu faoliyat ayniqsa psixoterapevtlarni tayyorlashda muhim axamiyatga ega. Superviziya kasbiy kompententlikni oshirishga, bilim, ko'nikmalarni yanada takamollashtirishga va shaxsiy kamolotga erishishga yordam beradi. Keyingi vaqtlarda modulli ta'lim tizimida kompleks yondashuv tamoyili kuchayib bormoqda. Unda turli shakl, usullar moslashtirilgan holda joylashtirilmokda. Bugungi kunda aralash ta'lim innovatsiya sifatida kirib kelmoqda.

YAngi texnologiyalar kun sayin rivojlanib, axborotlashtirish jarayoni tez sur'atlar bilan

o'sib borayotgan hozirgi davrda ta'lim soxasida axborot resurslarini tashkil etish va ta'limda foydalanishga mamlakatimizda xam aloxida e'tibor qaratilmokda. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining O'zbekiston Respublikasida "Elektron ta'lim" milliy tizimini yaratish investitsiya loyixasini amalga oshirish chora-to'g'risida 2012 yil 16 apreldagi PQ-1740 con qarori ta'lim soxasida axborotlashtirishning milliy tizimini shakllantirish, zamonaviy axborot texnologiyalarini joriy etish va undan foydalanish, jaxon axborot resurslaridan baxramand bo'lishni kengaytirishga zamin yaratadi.

Multimedia maxsulotlarini pedagogik jarayonda foydalanishni ikki xil yo'lda amalga oshirish mumkin.

Bozorda mavjud dasturiy maxsulotlardan o'qitiladigan fan doirasiga mos keladiganlaridan foydalanish. Tanlash masalasi ancha murakkab, chunki mavjud maxsulotlar o'tiladigan fan dasturiga mos bo'lishi, pedagog tomonidan qo'yilgan ma'lumotlarning ishonchlilik talablariga, qabul qilinish darajasiga, to'liqligiga javob bera olishi lozim.

O'qituvchi tomonidan o'qitiladigan fan maqsadiga va ko'riladigan masalalar doirasiga mos multimedia maxsulotini yaratish. Buning uchun fan o'qituvchilari multimedia texnologiyalari bo'yicha malakalarini turli kurslarda oshirishi, shuningdek kompyuter imkoniyatlarini batafsil o'rganib chiqishi, qo'shimcha tasvirlarni ko'rsatish vositalari va interaktiv doskaning imkoniyatlarini bilishlari lozim.

MUSTAQIL TA'LIM

- 1 O'rtacha qiymat. Fluktuasiyalar. Izojarayonlar Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 1 - hafta 8
- 2 Muvozanatli va muvozanasiz jarayonlar. Qaytar va qaytmas jarayonlar Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 2 - hafta 10
- 3 Gaz molekularining tezliklarini aniqlash. Broun harakati Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 3 - hafta 8
- 4 Perren tajribasi Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 4 - hafta 6
- 5 Gaz molekularining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va eng ehtimolli tezliklari Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 5 - hafta 12
- 6 Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 6 - hafta 8
- 7 Stasionar va nostasionar issiqlik o'tkazuvchanlik Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 7 - hafta 8
- 8 Ko'chish koeffisientlarini orasidagi bog'lanish. Ideal gaz jarayonlarida entropiya o'zgarishini hisoblash Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 8 - hafta 12
- 9 Temperaturaning termodinamik shkalasi. Termodinamikaning 3-bosh qonuni Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 9 - hafta 10
- 10 Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi. Real gazning ichki energiyasi Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 10 - hafta 10
- 11 Gaz holatdan suyuq holatga o'tish. Gazlarni suyultirish usullari Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 11 - hafta 10
- 12 Suyuqliklarning hajmiy xossalari Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 12 - hafta 8
- 13 Suyuqliklarning issiqlik sig'implari va suyuqliklarda ko'chish hodisalari. Bug'lanish va qaynash Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 13 -hafta 14
- 14 Kristallarning simmetriyasi va simmetriya elementlari Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 14 - hafta 10
- 15 Kristallardagi nuqsonlar (deffektlar). Kristallarning erishi va sublimatsiyasi Adabiyotlardan konspekt qilish yoki kompyuterda slaydlar ko'rishida tayyorlash va himoya qilish. 15 - hafta 14

Jami:

150

GLOSSARIY

№	Fizikaviy tushunchalar			Ta'rif
	ING	RUS	UZB	
1	Molecular physics	Molekulyar naya fizika	Molekulyar fizika	Fizikaning uzluksiz xaotik harakatlanuvchi juda ko'p miqdordagi atom va molekulalardan iborat modda tuzilishi va hossalarini o'rganuvchi bo'limi
2	The molecular-kinetic theory	Molekulyar no-kineticheskaya teoriya	Molekulyar -kinetik nazariya	Molekulyar fizikaning sistemalarni statistik o'rganish usuliga asoslangan bo'limi
3	The thermodynamics	Termodinamika	Termodinamika	Fizikaning makroskopik sistemalar hossalarini ularda sodir bo'ladigan mikroskopik jarayonlarni hisobga olmagan holda fenomenologik yondashuv usulidan foydalanib o'rganuvchi bo'limi
4	Relativity molecular mass	Otnositelnaya molyarnaya massa	Nisbiy molekulyar massa	Modda molekulasi massasining uglerod S ₁₂ izotopi molekulasi massasining 1/12 qismiga nisbati bilan aniqlanuvchi massa birligi
5	Mole	Mol	Mol	0,012 kg miqdorida olingan uglerod S ₁₂ izotopidagichalik molekulalar soniga ega bo'lgan modda miqdori
6	Ideal gas	Idealnyy gaz	Ideal gaz	Gazning uni tashkil qilgan molekulalari xususiy hajmi shu gaz joylashgan idish hajmiga nisbatan hisobga olmaslik mumkin bo'lgan darajada kichik bo'lgan, molekulalararo o'zaro ta'sirlar yo'q deb hisoblanadigan va hamda molekulalarning o'zaro va idish devorlari bilan to'qnashuvlari to'liq elastik deb ideallashtirilgan fizikaviy modeli
7	The equation of condition of ideal gas	Uravneniya sostoyaniya idealnogo gaza	Ideal gaz holati tenglamasi (Ideal gazning bosimi, hajmi va haroratlarini o'rtasidagi umumiy munosabatni tavsiflovchi tenglama
8	Statistic's physics	Statisticheskaya fizika	Statistik fizika	Nazariy fizikaning juda ham ko'p miqdordagi zarralardan tashkil topgan sistemalar hossalarini statistik usullar bilan o'rganuvchi bo'limi
9	Maxwell's law	Raspredele niya Maksvella	Maksvell taqsimoti	Gaz molekulalarining tezliklari bo'yicha taqsimoti. Bu munosabat gaz molekulasi massasi va harorati orqali ifodalanadi va u vaqtga bog'liq emas.
10	The basic equation of the kinetic theory of gases	Osnovnoe uravneniya molekulyar no-kineticheskoy teorii	Molekulyar -kinetik nazariyning asosiy tenglamasi	Gaz bosimining molekulalar konsentratsiyasi, massasi va o'rtacha kvadratik tezligiga to'g'ri proporsional bog'lanishini ifodalovchi tenglama
11	Bolsman's law	Zakon Bolsmana	Bolsman qonuni	Gaz molekulalari energiyasining erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanishi haqidagi qonuni. Bunda har bir ilgarilanma va aylanma erkinlik darajalariga mos keluvchi energiya ga,

				har bir tebranma erkinlik darajasiga mos keluvchi energiya esa kT ga teng.
12	Condition of balance	Uravneniya ravnovesiya	Muvozanat holati	Sistemaga tashqi ta'sirlar bo'lmaganda undagi barcha termodinamik parametrlar yetarlicha uzoq vaqt mobaynida ma'lum bir o'zgarmas qiymatlarni qabul qiladigan holati
13	No in condition of balance	Sostoyaniya neravnovesiya	Nomuvozanat holati	Sistemada hech bo'lmaganda bitta termodinamik parametr ma'lum bir o'zgarmas qiymatni qabul qilmaydigan holati
14	The first law of thermodynamics	Первый закон Термодинамики	Termodinamikaning birinchi qonuni	Sistemaga berilgan issiqlik miqdori, sistema ichki energiyasining o'zgarishi va shu sistema tomonidan tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ishlar o'rtasidagi munosabatni ifodalovchi qonun
15	Heat	Тепло yemkost	Issiqlik sig'imi	Jism haroratini bir kelvinga oshirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga teng bo'lgan fizikaviy kattalik
16	Isoprocesses	Изопроцессы	Izojarayonlar	Ideal gazlarning massasini va hech bo'lmaganda bitta termodinamik parametrini vaqt o'tishi bilan o'zgartirmasdan olib boriladigan jarayonlar
17	Adiabatic process	Адиабатический процесс	Адиабатик jarayon	Ideal gazlarning tashqi muhit bilan issiqlik almashmasdan boradigan jarayoni
18	Convertible process	Обратимый процесс	Qaytar jarayonlar	Sistemaning teskari yo'nalishini ham xuddi to'g'ri yo'nalishida bosib o'tgan oraliq holatlari orqali olib borish mumkin bo'lgan jarayonlar
19	Cycle of Carno	Сикл Карно	Karno sikli	Sistemaning ikkita adiabata va ikkita izotermadan iborat berk jarayonlari majmui
20	The second law of thermodynamics	Второй закон термодинамики	Termodinamikaning ikkinchi qonuni	Tabiatdagi jarayonlarning sodir bo'lishi yo'nalishi va xarakterini aniqlovchi qonuniyat
21	Entropy	Энтропия	Энтропия	Sistemaning uning differensial jarayonning juda ham kichik bo'lgan qismida jismga uzatilgan issiqlik miqdorini issiqlik uzatuvchi jism haroratiga nisbati bilan aniqlanuvchi holat funksiyasi
22	The theorem of Klayzius	Теорема Клаузиуса	Klauzius teoremasi	Ideal gazni bir holatidan boshqa bir holatiga o'tishida keltirilgan issiqliklar yig'indisi o'tishlar yo'lga bog'liq bo'lmashligini isbotlovchi ilmiy hulo
23	Number of free degree	Число свободных степеней	Erkinlik darajalari soni	Nuqtaning fazodagi vaziyatini to'liq aniqlovchi o'zaro bog'liq bo'lmagan koordinatalari soni
24	The trajectory of motion	Траектория движения	Harakat traektoriyasi	Jismning o'z harakati mobaynida bosib o'tgan nuqtalari to'plamidan iborat bo'lgan egri chiziq
25	Momentum of velocity	Импульс скорости	Oniy tezlik	Harakatlanuvchi jism ko'chishidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga miqdor jihatidan teng bo'lgan va harakat traektoriyasining har bir

				nuqtasiga urinma bo'ylab yo'nalgan fizikaviy vektor kattalik
26	Friction of force	Sila treniya	Ishqalanish kuchi	Jism boshqa bir jism sirtida harakatlanayotganda unga ta'sir qiluvchi va buning natijasida jismning mexanikaviy energiyasi ichki energiyaga aylanishiga sabab bo'luvchi mexanikaviy kuch
27	Elementar work of force	Elementar naya sila raboty	Kuchning elementar ishi	Jismga qo'yilgan kuch va elementar ko'chishlarning skalyar ko'paytmasi bilan aniqlanuvchi fizikaviy kattalik
28	Power	Мощност	Quvvat	Birlik vaqt mobaynida bajarilgan ishga son jihatidan teng bo'lgan fizikaviy kattalik
29	Kinetik energy	Kinetiches kaya energiya	Kinetik energiya	Jismning o'z harakati tufayli ega bo'ladigan energiyasi
30	Potential energy	Potensialnaya energiya	Potensial energiya	Jismning boshqa biror jism (jismlar) yoki maydon bilan o'zaro ta'sirlashuvi tufayli ega bo'ladigan energiyasi
31	Hydroaerodynamics	Gidroaerodinamika	Gidroaerodinamika	Mexanikaning suyuqlik va gazlar muvozanati va harakati, ular o'rtasidagi va qattiq jismlar sirti bo'ylab oqishidagi o'zaro ta'sirlarni o'rganuvchi bo'limi
32	Incompressible fluid	Nesjimaemyy jidkost	Siqilmaydigan suyuqlik	Hamma nuqtalarda zichligining kiymati bir xil bo'lgan va vaqt mobaynida o'zgaraydigan suyuqlik
33	Fluid's pressure	Davleniya jidkosti	Suyuqlik bosimi	Suyuqlik tomonidan birlik yuzaga ta'sir qiluvchi va shu suyuqlik joylashgan idish sirtiga tik yo'nalgan kuchga teng bo'lgan fizikaviy kattalik
34	Pascal's law	Zakon Paskalya	Paskal qonuni	Muvozanat holatidagi suyuqlikning o'zi turgan idish devoriga bosimi idishning barcha nuqtalarida bir xilligini isbotlovchi qonun
35	Archimedes law	Zakon Arximeda	Arximed qonuni	Suyuqlik yoki gazga botirilgan jismga shu suyuqlik yoki gaz tomonidan jism botirilgan qismining hajmiga teng miqdorda olingan suyuqlik yoki gaz og'irligiga teng va yuqoriga qarab tik yo'nalgan kuch ta'sir qilishini isbotlovchi qonun
36	The equation of continuity	Urvneniya nepreryvnoy	Uzluksizlik tenglamasi	Siqilmaydigan suyuqlik oqimi tezligining shu suyuqlik oqayotgan truba ko'ndalang kesimi yuzasiga ko'paytmasi trubaning ixtiyoriy nuqtasida bir xilligini ifodalovchi munosabat
37	Statics pressure	Statistiches -kaya davleniya	Statik bosim	Suyuqlik tomonidan o'zi oqayotgan jism sirtiga beradigan bosimi
38	Dynamic pressure	Dinamiches -kaya davleniya	Dinamik bosim	Suyuqlik zichligining uning oqimi tezligi kvadratiga ko'paytmasiga teng bo'lgan fizikaviy kattalik
39	The formula of Torricelli	Formula Torrichelli	Torrichelli formulasi	Suyuqlikning o'zi joylashgan idish devori yoki tubining kichik teshigi orqali oqib chiqish tezligi suyuqlik ustuni balandligi va erkin tushish tezlanishiga ko'paytmasidan olingan kvadrat ildizga to'g'ri proporsional ekanligi ifodalovchi munosabat
40	Friction	Vyazkost	Qovushqoq	Real yoki suyuqliklarning shu gaz yoki suyuqlik

			lik	bir qismini boshqa kismilariga nisbatan siljishiga qarshilik ko'rsatish xususiyati
41	The force of rise	Sila podyoma	Ko'tarish kuchi	Suyuqlik yoki gazda harakatlanuvchi jismga ta'sir qiluvchi va suyuqlik oqimi yo'nalishiga tik yo'nalgan kuch

ILOVALAR

O‘zbekiston Respublikasi
Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi
Guliston Davlat universiteti

“TASDIQLAYMAN”

O‘quv ishlar bo‘yicha
proretor F.G. Sharipov

« ____ » _____ 2020 y.

Fizika-matematika fakulteti

MOLEKULAR FIZIKA

fanining

ISHCHI O‘QUV DASTURI
(SYLLABUS)

Bilim sohasi: 100000- Gumanitar soha
Ta’lim sohasi: 140000 – Nofizik bakalavriat yo‘nalishlari uchun
Ta’lim yo‘nalishi: 5140200 - Fizika

O‘qish davri	2-semestr
Fan kodi	PHY103
Fan hajmi	6 kredit
Fanning umumiy soatlar	240
shu jumladan - auditoriya soatlari:	90
shu jumladan	
- ma’ruzalar	60
- laboratoriya mashg‘ulotlari	30
- mustaqil ta’lim	150
shu jumladan:	
- O‘RTMI	60
- TMI	90
Nazorat shakli	ON, YaN
O‘qitish tili	Uzb, Rus, Eng

Guliston – 2020 y

Fanning ishchi o'quv dasturi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 20__ yil "___" _____dagi ___-sonli buyrug'ining ___-ilovasi bilan tasdiqlangan "Fizika" fani dasturi asosida tayyorlangan.

"Fizika" kafedra majlisida ko'rib chiqilgan.

"___" _____ 2020 y.

Bayonnoma

№

Kafedra mudiri: _____ **Sh.Ashirov**

"Fizika matematika" fakultetining Ilmiy-uslubiy kengashi tomonidan foydalanish uchun tavsiya etilgan.

"___" _____ 2020 y.

Bayonnoma

№

Rais: _____ **dos. S. Allayorov**

Fan o'qituvchilari haqida ma'lumot:

Boymirov Sherzod Tuxtaevich
Sattarkulov Komil Raxmatovich

lektor, GulDu, "Fizika" kafedra o'qituvchisi.
tyutor, lektor, GulDu, "Fizika" kafedra o'qituvchisi

Ofis: GulDu, Fizika-matematika fakulteti, "Fizika" kafedra.

Manzil: Guliston sh., A.Navoiy ko'chasi, 32 - uy.

Telefon: +998712443971

Email: sboymirov@list.ru

Intizomiy talablar:

Talabning intizomi universitetning "Talabalar uchun ichki tartib-qoidalar"ga to'liq javob berishi shart.

Fan/modul kodi PHY103		O'quv yili 2020 – 2021	Semestr 2	ECTS - Kreditlar 6	
Fan/modul turi Majburiy		Ta'lim tili O'zbek/rus		Haftadagi dars soatlari 6	
1.	Fanning nomi	Auditoriya mashg'ulotlari (soat)	Mustaqil ta'lim (soat)	Jami yuklama (soat)	
	Molekular fizika	90	150	240	
2.	<p>I. Fanning mazmuni</p> <p>Fanni o'qitishning maqsadi - talabalar ko'z o'ngida fizik hodisalarni ilmiy bilish usullarini termodinamika va molekular fizika asosini o'rganish chegarasida ochib berish. Fanni o'qitishdan maksad, insoniyat foydasi uchun qo'llash mumkin bo'lgan tabiatning ob'ektiv konunlarini ochish va tekshirishlar natijalarini amaliyot va texnikada ko'llashdir. Fizika qonuniyatlarini o'rganish texnikani rivojiga olib keladi. Fizikaning asosiy qonun va hodisalarini bilmay turib amaliy va maxsus kurslarni o'rganishga kirishib bo'lmaydi. Umumiy fizikaning bir bo'limi sifatida «Molekular fizika» fanini o'qitishdan asosiy maqsad, bo'lajak mutaxassislar - fizik kadrlarda kuzatishlar, amaliy tekshirish va tajribalarni umumlashtirish asosida fizikaviy nazariya to'g'risida dastlabki tushunchalar hosil qilish, ularda o'zlarining tanlagan mutaxassislik sohalari bo'yicha muvaffaqiyatli bilim olishlarini ta'minlash uchun poydevor yaratishdan iboratdir.</p> <p>Fanni o'qitishning vazifalari quyidagilardan iborat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Moddalarni tashkil etuvchi atom va molekulalarning harakati va o'zaro ta'sirini statistik mexanika, termodinamika va fizikaviy kinetika metodlari orqali o'rganadi; - Molekular fizika fani turli agregat holatdagi makroskopik tizimlar tarkibiga kiruvchi ulkan sondagi zarrachalarning (molekulalar, atomlarning) o'zaro ta'siri va kollektiv harakati bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni o'rganadi. Moddalar tuzilishini o'rganishga birinchi qadam qo'yiladi. Talabalar umumiy fizikani ushbu bo'limini o'rganishda qo'llaniladigan usullar va modellar bilan tanishib o'tishi, kelgusida o'zlarining mutaxassislik sohasida muvaffaqiyatli baholar olishlari uchun yetarli bo'lgan nazariy va amaliy bilim ko'nikmalariga ega bo'lishlari kerak bo'ladi. Molekular fizika erishgan yutuqlar fan va texnikaning turli sohasida, masalan, atmosferada yuz beradigan hodisalarni tushuntirishda va o'rganishda, gazlarda yuz beradigan razryad bilan bog'liq jarayonlarni yoritishda, vakuum va kriogen texnikasi bilan bog'liq sohalarda, biologiyada tirik organizmlardagi osmos va kapillyarlik bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarni o'rganishda, turli parametrga ega bo'lgan aralashmalar va qotishmalar olishda, termodinamikada, kimyoda (gaz qonunlari), statistik xarakterga ega bo'lgan jarayonlarni tahlil qilishda va boshqa ko'pgina sohalarda ishlatilishi mumkin. <p style="text-align: center;">II. Asosiy nazariy qism (ma'ruza mashg'ulotlari)</p> <p style="text-align: center;">II.I. Fan tarkibiga quyidagi mavzular kiradi:</p> <p>1-mavzu. Kirish. Molekular fizikaga kirish. Modda haqidagi molekular – kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzilishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari.</p> <p>2-mavzu. Modda xossalari Modda xossalari o'rganishdagi dinamik, statistik va termodinamik usullar.</p> <p>3-mavzu. Ideal gaz bosimi. Gaz molekular – kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.</p> <p>4-mavzu. Temperatura. Ideal gaz holat tenglamasi.</p> <p>5-mavzu. Ideal gaz qonunlari. Gaz molekulalarining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati.</p>				

6-mazu. Barometrik formula.

Perren tajribasi. Bolsman qonuni.

7-mavzu. Ehtimollik.

Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar.

8-mavzu. Taqsimot funksiyasi.

Gaz molekularining komponentalari bo'yicha taqsimoti.

9-mavzu. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti.

Maksvell-Bolsman taqsimoti.

10-mavzu. Nisbiy tezliklar bo'yicha Maksvel taqsimoti.

Gaz molekularining o'rtacha arifmetik va eng katta ehtimolli tezliklari.

11-mavzu. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish.

Fermi –Dirak va Boze – Eynshteyn statistikasi to'g'risidagi tushuncha.

12-mavzu. Ideal gazning ichki energiyasi.

Issiqlik miqdori. Termodinamikaning 1 – qonuni.

13-mavzu. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi.

Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi.

14-mavzu. Gazlarning issiqlik sig'imi.

Gazlarning issiqlik sig'imi va molekularning erkinlik darajasi.

15-mavzu. Ikki va ko'p atomli gazlar.

Ikki va ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imlari. Teng taqsimot qonuni.

16- mavzu. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish.

Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish. Politropik jarayon.

17-mavzu. Molekular harakatlar va ko'chish hodisalari.

Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li. Diffuziya va modda ko'chishi.

18-mavzu. Nostatsionar va statsionar diffuziya.

19-mavzu. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi.

Fure qonuni. Statsionar va nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik.

20-mavzu. Qovushoqlik.

Ko'chish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish.

21-mavzu. Molekulararo o'zaro ta'sir kuchlari.

Gazlarning suyulishi. Eksperimental izotermalalar.

22-mavzu. Real gazning holat tenglamasi.

Van – der – Vaals izotermalari.

23-mavzu. Fazaviy o'tish.

Fazaviy diagrammalar.

24-mavzu. Kritik holat va kritik parametrlar.

Van – der – Vaals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslash.

25-mavzu. Van – der – Vaalsning keltirilgan tenglamasi.

Mos holatlar qonuni.

26-mavzu. Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar.

Termodinamikaning Birinchi bosh qonuni. Siklik jarayon va Karno sikli.

27-mavzu. Entropiya.

Qaytar va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi. Klauzius tengsizligi. Termodinamikaning II – qonuni.

28-mavzu. Entropiya va ehtimollik.

Entropiya va tartibsizlik. Termodinamikaning III – bosh qonuni. Manfiy temperaturalar.

29-mavzu. Suyuqliklarning hajmiy xossalari.

Suyuqliklardagi kuchlar. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar. Sirt taranglik.

30-mavzu. Kristall panjara va ularning turlari.

Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi. Polimorfizm. Kristallar anizotropiyasi. Metallarda diffuziyaning mexanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.

Ma'ruza mashg'ulotlari

№	Ma'ruzalar mavzulari	soatlar
1	1-mavzu. Kirish. Molekular fizikaga kirish. Modda haqidagi molekular – kinetik tasavvurlarning rivojlanish va uning tuzilishi haqidagi mumtoz va kvant fizikasi modellari.	2
2	2-mavzu. Modda xossalari Modda xossalari o'rganishdagi dinamik, statistik va termodinamik usullar.	2
3	3-mavzu. Ideal gaz bosimi. Gaz molekular – kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.	2
4	4-mavzu. Temperatura. Ideal gaz holat tenglamasi.	2
5	5-mavzu. Ideal gaz qonunlari. Gaz molekularining tezliklari. Shtern tajribasi. Broun harakati.	2
6	6-mavzu. Barometrik formula. Perren tajribasi. Bolsman qonuni.	2
7	7-mavzu. Ehtimollik. Ehtimolliklar nazariyasining ayrim tushunchalari va ular ustida amallar.	2
8	8-mavzu. Taqsimot funksiyasi. Gaz molekularining komponentalari bo'yicha taqsimoti.	2
9	9-mavzu. Molekularning tezliklar bo'yicha taqsimoti. Maksvell-Bolsman taqsimoti.	2
10	10-mavzu. Nisbiy tezliklar bo'yicha Maksvel taqsimoti. Gaz molekularining o'rtacha arifmetik va eng katta ehtimolli tezliklari.	2
11	11-mavzu. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish. Fermi –Dirak va Boze – Eynshteyn statistikasi to'g'risidagi tushuncha.	2
12	12-mavzu. Ideal gazning ichki energiyasi. Issiqlik miqdori. Termodinamikaning 1 – qonuni.	2
13	13-mavzu. Ideal gazlarning issiqlik sig'imi. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi.	2
14	14-mavzu. Gazlarning issiqlik sig'imi. Gazlarning issiqlik sig'imi va molekularning erkinlik darajasi.	2
15	15-mavzu. Ikki va ko'p atomli gazlar. Ikki va ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'implari. Teng taqsimot qonuni.	2
16	16- mavzu. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish. Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish. Politropik jarayon.	2
17	17-mavzu. Molekular harakatlar va ko'chish hodisalari. Effektiv kesim yuzi. O'rtacha erkin yugurish yo'li. Diffuziya va modda ko'chishi.	2
18	18-mavzu. Nostatsionar va statsionar diffuziya.	2
19	19-mavzu. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi. Fure qonuni. Statsionar va nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik.	2
20	20-mavzu. Qovushoqlik. Ko'chish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish.	2
21	21-mavzu. Molekulararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarning suyulishi. Eksperimental izotermalar.	2
22	22-mavzu. Real gazning holat tenglamasi. Van – der – Vaals izotermalari.	2
23	23-mavzu. Fazaviy o'tish.	2

	Fazaviy diagrammalar.	
24	24-mavzu. Kritik holat va kritik parametrlar. Van – der – Waals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslash.	2
25	25-mavzu. Van – der – Waalsning keltirilgan tenglamasi. Mos holatlar qonuni.	2
26	26-mavzu. Qaytuvchan va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning Birinchi bosh qonuni. Siklik jarayon va Karno sikli.	2
27	27-mavzu. Entropiya. Qaytar va qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi. Klauzius tengsizligi. Termodinamikaning II – qonuni.	2
28	28-mavzu. Entropiya va ehtimollik. Entropiya va tartibsizlik. Termodinamikaning III – bosh qonuni. Manfiy temperaturalar.	2
29	29-mavzu. Suyuqliklarning hajmiy xossalari. Suyuqliklardagi kuchlar. Suyuqlik chegarasidagi hodisalar. Sirt taranglik.	2
30	30-mavzu. Kristall panjara va ularning turlari. Brave fazoviy panjaralar klassifikatsiyasi. Polimorfizm. Kristallar anizotropiyasi. Metallarda diffuziyaning mexanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.	2
Jami:		60

III. Amaliy mashg'ulotlari buyicha ko'rsatma va tavsiyalar

Amaliy mashg'ulotlari uchun quyidagi mavzular tavsiya etiladi:

1. Molekular fizikaning mazmuni, Modda miqdori, molyar va nisbiy molekular massa, konsentratsiya va molekular sonini hisoblash.
2. Ideal gazning kinetik nazariyasi, Ideal gazning bosimi. Gaz molekularining o'rtacha kinetik energiyasi va gazning mutlaqharorati orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.
3. Ideal gaz qonunlari yordamida gazning holat parametrlarini aniqlash. Ideal gazning holat tenglamasini qo'llashga doir masalalar yechish.
4. Gaz aralashmalarining molyar massasini va holat parametrlarini hisoblash. Barometrik formulani qo'llash va Bolsman taqsimotiga doir masalalar yechish.
5. Molekulalarning tezliklar va kinetik energiyalar bo'yicha taqsimoti. Molekulalarning xarakterli tezliklarini hisoblash.
6. Ko'chish jarayonlarining elementar kinetik nazariyasi, Molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi va molekularning to'qnashuvlar soni.
7. Issiqlik o'tkazuvchanlik va energiya ko'chishi. Fure qonuni.
8. Diffuziya oqimi va diffuziya koeffitsientini hisoblash. Impuls oqimini va qovushoqlik koeffitsientini hisoblash.
9. Issiqlik oqimi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.
10. Issiqlikning kinetik nazariyasi va termodinamika elementlari, Ideal gazning ichki energiyasini hisoblash va ichki energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha taqsimotiga doir masalalar yechish.
11. Gazga berilgan issiqlik miqdori, gazning ishi va ichki energiyasining o'zgarishi orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblash.
12. Ideal gazlarning issiqlik sig'imlarini hisoblash. Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsientlari va ideal gaz jarayonlarida entropiya o'zgarishini hisoblash.
13. Real gazlar va suyuqliklar, Real gazlarning holat parametrlarini va ichki energiyasini hisoblash.

14. Suyuqliklarning sirt tarangligi va kapillyar hodisalarga doir masalalar yechish.
15. Qattiq jism, panjara parametrlarini va qattiq jismlarning issiqlik sig'irlarini hisoblashga doir masalalar yechish.

№	Ma'ruzalar mavzulari	soatlar
1	Molekular fizikaning mazmuni, Modda miqdori, molyar va nisbiy molekular massa, konsentratsiya va molekular sonini hisoblash.	2
2	Ideal gazning kinetik nazariyasi, Ideal gazning bosimi. Gaz molekularining o'rtacha kinetik energiyasi va gazning mutlaqharorati orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish.	2
3	Ideal gaz qonunlari yordamida gazning holat parametrlarini aniqlash. Ideal gazning holat tenglamasini qo'llashga doir masalalar yechish.	2
4	Gaz aralashmalarining molyar massasini va holat parametrlarini hisoblash. Barometrik formulani qo'llash va Bolsman taqsimotiga doir masalalar yechish.	2
5	Molekulalarning tezliklar va kinetik energiyalar bo'yicha taqsimoti. Molekulalarning xarakterli tezliklarini hisoblash.	2
6	Ko'chish jarayonlarining elementar kinetik nazariyasi, Molekulalarning o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi va molekularning to'qnashuvlar soni.	2
7	Issiqlik o'tkazuvchanlik va energiya ko'chishi. Fure qonuni.	2
8	Diffuziya oqimi va diffuziya koeffitsientini hisoblash. Impuls oqimini va qovushoqlik koeffitsientini hisoblash.	2
9	Issiqlik oqimi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish	2
10	Issiqlikning kinetik nazariyasi va termodinamika elementlari, Ideal gazning ichki energiyasini hisoblash va ichki energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha taqsimotiga doir masalalar yechish.	2
11	Gazga berilgan issiqlik miqdori, gazning ishi va ichki energiyasining o'zgarishi orasidagi bog'lanishga doir masalalar yechish. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ishni hisoblash.	2
12	Ideal gazlarning issiqlik sig'irlarini hisoblash. Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsientlari va ideal gaz jarayonlarida entropiya o'zgarishini hisoblash.	2
13	Real gazlar va suyuqliklar, Real gazlarning holat parametrlarini va ichki energiyasini hisoblash.	2
14	Suyuqliklarning sirt tarangligi va kapillyar hodisalarga doir masalalar yechish.	2
15	Qattiq jism, panjara parametrlarini va qattiq jismlarning issiqlik sig'irlarini hisoblashga doir masalalar yechish.	2
Jami:		30

IV. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar

Mustaqil ta'limdan ko'zlangan maqsad va vazifalar - bu talabalarda mustaqil bilim olish ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat.

Mustaqil ta'lim laboratoriya mashg'ulotlariga tayyorgarlik ko'rishdan tashqari fan dasturida ko'rsatilmagan, ammo fan bo'yicha talabning bilim doirasini kengaytiruvchi qo'shimcha mavzular doirasida berilgan topshiriqlarni bajarishni o'z ichiga oladi.

Mustaqil ta'lim uchun tavsiya etiladigan mavzular:

1. Gaz molekularining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va eng katta ehtimolli tezliklari. Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish.
2. Cuyuqliklarning bug'lanishi va qaynashi. Osmotik bosim.

3. Metallarda diffuziyaning mexanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.
4. Taqsimot funksiyalarini qiyosiy tahlil qilish.

№	mustaqil ishlar mavzulari	soatlar
1	Gaz molekularining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va eng katta ehtimolli tezliklari. Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish.	12
2	Cuyuqliklarning bug'lanishi va qaynashi. Osmotik bosim.	12
3	Metallarda diffuziyaning mexanizmlari. Metallarning issiqlik sig'imi.	16
4	Taqsimot funksiyalarini qiyosiy tahlil qilish.	16
Jami:		60

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan referatlar tayyorlash va uni taqdimot qilish tavsiya etiladi.

Talabaning mustaqil ish mashg'ulotlari hajmi

T.r.	TMI shakllari	soat
1.	Research. Talabalar Internetdan va boshqa manbalardan mustaqil ravishda ma'lumot izlashadi va tarqatma materiallarni o'rganishadi. Har bir ma'ruza bo'yicha kamida 2 soat shug'ullanish maqsadga muvofiq.	22
2.	Forum. Talabalar fan mashg'ulotlari bo'yicha topshiriqlarni bajarish mobaynida masofaviy ta'lim platformasida o'zaro muloqot qilishadi. Bu jarayon uchun vaqt sarfi masofaviy ta'lim platformasida qayd qilib boriladi.	22
3.	FAQ (ko'p beriladigan savollar forumi). Talaba o'z muammosi bo'yicha maslahat olish uchun masofaviy ta'lim platformasida maslahat tizimiga (glossariyga) yoki o'qituvchiga murojaat qiladi. Bu jarayon uchun vaqt sarfi masofaviy ta'lim platformasida qayd qilib boriladi.	23
4.	Test. Talaba har bir modul yakunida o'z bilimlarini mustahkamlash uchun masofaviy ta'lim platformasidagi o'rgatuvchi testlarni ishlaydi. Bu jarayon uchun vaqt sarfi masofaviy ta'lim platformasida qayd qilib boriladi.	23
Jami		90

3.

V. Fan o'qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetensiyalar)

Fanni o'zlashtirish natijasida talaba:

- garchi atom va molekularlar bo'ysunadigan qonunlar kvant mexanikasi qonunlari bo'lsada, jismlarning ko'pchilik xossalari atom va molekularlarning kvant tabiati bilan bog'liq emas, balki, ularda atom va molekularlarning haddan tashqari ko'p sonli ekanligi bilan bog'liqlik ekanligini, suyuqlik sirtida yuzaga keluvchi sirt tarangalik kuchlari va kapillyarlik hodisalarining yuzaga kelish sabablarni biladi;

- ideal gaz qonunlari va ideal gazning holat tenglamasidan foydalangan holda gazning u yoki bu holati uchun holat parametrlarini, turli jarayonlarda gazning ichki energiyasining o'zgarishini, bajargan ishini, olgan yoki bergan issiqlik miqdorini hisoblab topa olishi, gazning u yoki bu sharoitiga mos keluvchi issiqlik sig'imlarini hisoblab topa oladi,

- gazning biror – bir tezlik intervalida harakatlanuvchi molekularlari soni yoki ulushini, gazlarda va suyuqliklarda ko'chish hodisalarining yuzaga kelish sabablarini, ko'chish koeffitsientlarining ma'nolarini bilishi, olingan bilimlar asosida molekularlarning o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligini va ko'chish koeffitsientlari qiymatlarini, ideal va real gaz holatlari orasidagi farq nima sababdan yuzaga kelishini bilib olishi, olgan bilimlari asosida real gazning holat parametrlarini hisoblay oladi;

- termodinamikaning asosiy qonunlarini, issiqlik mashinalarining ishlash prinsipi va ularda maksimal foydali ish olish, kristallar hodisalaridagi anizotropiklikning sabablarini tushuntirib bera olishi, kristallarning elementar yacheykalari parametrlarini hisoblay olishi, kristallardagi tekisliklar va yo'nalishlarni belgilashni bilishi, qattiq jism issiqlik sig'imining kvant nazariyasi haqida bilim va ko'nikmalariga ega bo'ladi.

4.	<p>VI. Ta'lim texnologiyalari va metodlari:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ma'ruzalar; - interfaol keys-stadilar; - seminarlar (mantiqiy fiklash, tezkor savol-javoblar); - guruhlarda ishlash; - taqdimotlarni qilish; - individual loyihalar; - jamoa bo'lib ishlash va himoya qilish uchun loyihalar. 																																									
5.	<p>VII. Kreditlarni olish uchun talablar:</p> <p>Fanga oid nazariy va uslubiy tushunchalarni to'la o'zlashtirish, tahlil natijalarini to'g'ri aks ettira olish, o'rganilayotgan jarayonlar haqida mustaqil mushohada yuritish va joriy, oraliq nazorat shakllarida berilgan vazifa va topshiriqlarni bajarish, yakuniy nazorat bo'yicha yozma ishni topshirish.</p>																																									
6	<p>VIII. Talabalar bilimni baholash</p> <p>Kirish nazorati. Bu nazorat turi modulga kirish maqsadida anketa-so'rovnoma shaklida o'tkaziladi. Bunda talabalarga fanning kelajakdagi talabalar bilan faoliyatida tutgan o'rni, ahamiyati, fan mazmuni, fanni o'qitish usullariga oid so'rovlar o'tkaziladi, talabalarning fanni o'rganish uchun zarur bo'lgan dastlabki bilimlari aniqlanadi, taklif va tavsiyalar olinadi. Ushbu so'rovlar natijasi chuqur o'rganilib fanni o'qitishni tashkil qilish jarayonida zarur o'zgartirishlar kiritiladi.</p> <p>Oraliq nazoratlar. Oraliq nazoratlar semestr davomida 2 marta o'quv mashg'ulotlari davomida o'tkaziladi va 1-2 va 3-5 modullar bo'yicha talabalarning bajargan ishlari portfolio shaklida jamlanib tahlil qilib baholanadi.</p> <p>Jami 14 ta amaliy (Q/A, Chart, Link, Review, SWOT, Google Apps, Interview) va va 9 ta laboratoriya mashg'ulotining (LabReport) har bo'yicha o'zlashtirish natijalari 5 ballik tizimda baholanadi va jami 95 ball to'planadi, talabaning darslardagi faolligi va ishtirokiga umumiy 5 ball qo'yiladi. Umumiy hisobda oraliq nazorat topshiriqlari 100 ballik tizimda baholanadi. Talabaning oraliq nazorat bo'yicha o'zlashtirgan ballari quyidagi jadval asosida kredit ballariga va harfli tizimga o'giriladi.</p> <table border="1" data-bbox="360 1234 1402 1749"> <thead> <tr> <th>Harfli tizimdagi baho</th> <th>Ballarning raqamli ekvivalenti</th> <th>Foiz ko'rsatkichi</th> <th>An'anaviy usuldagi baho</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>4,0</td> <td>95-100</td> <td rowspan="2">A'lo</td> </tr> <tr> <td>A-</td> <td>3,67</td> <td>90-94</td> </tr> <tr> <td>V+</td> <td>3,33</td> <td>85-89</td> <td rowspan="4">Yaxshi</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>3,0</td> <td>80-84</td> </tr> <tr> <td>V-</td> <td>2,67</td> <td>75-79</td> </tr> <tr> <td>S+</td> <td>2,33</td> <td>70-74</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>2,0</td> <td>65-69</td> <td rowspan="2">Qoniqarli</td> </tr> <tr> <td>S-</td> <td>1,67</td> <td>60-64</td> </tr> <tr> <td>D+</td> <td>1,33</td> <td>55-59</td> <td rowspan="3">Qoniqarsiz</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1,0</td> <td>50-54</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0</td> <td>0-49</td> </tr> </tbody> </table> <p>O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirining 2018 yil 9-avgustdagi 19-2018-sonli buyrug'iga ilova qilingan "Oliy ta'lim muassasalarida talabalar bilimni nazorat qilish baholash tizimi to'g'risidagi nizom"ga muvofiq oraliq nazoratda fan bo'yicha A-S darajasiga erishgan talabalar yakuniy nazoratga qo'yiladi.</p> <p>Yakuniy nazorat (chiqish nazorati).</p> <p>Yakuniy nazorat taqdimot (yoki hamkorlikdagi taqdimot) shaklida o'tkaziladi. Talabaning yakuniy nazoratdagi o'zlashtirishi ham xuddi oraliq nazoratdagi kabi 100 ballik tizimda</p>	Harfli tizimdagi baho	Ballarning raqamli ekvivalenti	Foiz ko'rsatkichi	An'anaviy usuldagi baho	A	4,0	95-100	A'lo	A-	3,67	90-94	V+	3,33	85-89	Yaxshi	V	3,0	80-84	V-	2,67	75-79	S+	2,33	70-74	S	2,0	65-69	Qoniqarli	S-	1,67	60-64	D+	1,33	55-59	Qoniqarsiz	D	1,0	50-54	F	0	0-49
Harfli tizimdagi baho	Ballarning raqamli ekvivalenti	Foiz ko'rsatkichi	An'anaviy usuldagi baho																																							
A	4,0	95-100	A'lo																																							
A-	3,67	90-94																																								
V+	3,33	85-89	Yaxshi																																							
V	3,0	80-84																																								
V-	2,67	75-79																																								
S+	2,33	70-74																																								
S	2,0	65-69	Qoniqarli																																							
S-	1,67	60-64																																								
D+	1,33	55-59	Qoniqarsiz																																							
D	1,0	50-54																																								
F	0	0-49																																								

	<p>baholanadi va yuqoridagi jadval asosida uning baholash ko'rsatkichi aniqlanadi. Yakuniy nazorat bahosi fan bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichini belgilaydi.</p>
7	<p>Asosiy adabiyotlar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Umumiy fizika kursi. Molekular fizika, O'qituvchi, Toshkent-2004. 2. Jearl Walker, David Hallidey., R.Resnick. Fundamentals of physics. ISBN 978-8808-08797-3. 2014. 3. JEARL WALKER .FUNDAMENTALS OF PHUSICS, 2007,CERN 4. Douglas C. Giancoli. Physic sprinciples withapplications. 2014 5. Sivuxin D.V. Umumiy fizika kursi. Termodinamika va molekular fizika. O'qituvchi. Toshkent-1984, 526 bet. 6. Chertov A.A., Vorobev A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi, 1988 y. 8. sedrik M.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent, O'qituvchi, 1991 y. 9. Karabayeva M.A. Molekulyar fizika. T. Universitet-2014. 298 b <p>Qo'shimcha adabiyotlar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 14 fevraldagi 2017-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasi. 2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 17 iyundagi "2019-2023 yillarda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida talab yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatni rivojlantirish chora tadbirlari to'g'risida" gi PQ-4358 sonli Qarori. 3. Sh.M. Mirziyoev. "Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash-yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi" Toshkent-«O'zbekiston»-2017.48 bet. 4. Sh.M. Mirziyoev. "Milliy tiklanishdan milliy yuksalish sari". Toshkent- "Yoshlar nashriyot uyi"- 2019. 158 bet. 5. Abdullaev R.M., Xamidjonov I.X., Karabaeva M.A. «Molekular fizika», Universitet, T- 2003, 121 bet. 6. Volkenshteyn S.V. Umumiy fizikadan masalalar to'plami 7. Vasileva O.N., Saleskiy A.M. Molekularnaya fizika i termodinamika. Sbornik zadach. Moskva. Fizicheskiy fakultet MGU im. M.V. Lomonosova . 2018 g. 8. Mironova G.A., Brandt N.N., Vasileva O.N., Saleskiy A.M. Molekularnaya fizika i termodinamika. Razrabotka seminariskix zanyatiy. – M.: Fizicheskiy fakultet MGU, 2014. 752 s. 9. Mironova G.A., Brandt N.N., Vasileva O.N., Saleskiy A.M. Molekularnaya fizika i termodinamika. Metodika resheniya zadach. – M.: Fizicheskiy fakultet MGU, 2016. 416 s. 10. Mironova G.A., Brandt N.N., Saleskiy A.M. Molekularnaya fizika v voprosax i zadachax. – SPb.: Lan, 2012. 480 s. 11. Matveev A.N. Molekularnaya fizika. – M.: Vysshaya shkola, 1981. 400 s. 12. Aleshkevich V.A. Kurs obshchey fiziki. Molekularnaya fizika– M.: Fizmatlit, 2016. 312 s. <p>Axborot manbaalari</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Animatsion rolik (http://www.upscale.utorouto.ca. va html,http:tical ua.es). 2. Fizika "Physicon". 3. Fizikadan o'quv kinofilmlari.

	<p>4. Ko‘rgazmali rangli rasmlar (http://www.hord Wareandlysis com.).</p> <p>5. Phusics onlian”.</p> <p>6. www.cultinfo/fulltext/1/008/077/561/htm</p> <p>7. www.en/edu.ru. Portal</p>
8.	<p>Fan dasturi Oliy va o‘rta maxsus, kasb-hunar ta’limi yo‘nalishlari bo‘yicha O‘quv-uslubiy birlashmalar faoliyatini Muvofiqlashtiruvchi Kengashning 2020 yil 29 avgustdagi 4 -sonli bayonnomasi bilan ma’qullangan.</p> <p>O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2020 yil 29 avgustdagi 452- sonli buyrug‘i bilan ma’qullangan fan dasturlarini tayanch oliy ta’lim muassasasi tomonidan tasdiqlashga rozilik berilgan.</p>
9.	<p>Fan/modul uchun ma’sular:</p> <p>K.A.Tursunmetov - O‘zMU, “Umumiy fizika” kafedrasini, f.-m.f.d., professor.</p> <p>G‘.T.Raxmonov - O‘zMU, “Umumiy fizika” kafedra mudiri, f.-m.f.n., dos.</p> <p>O.Z.Sultonov - O‘zMU, “Umumiy fizika” kafedrasini, katta o‘qituvchi.</p>
10.	<p>Taqrizchilar:</p> <p>N.F. Zikrillaev – Toshkent Davlat Texnika universiteti professori;</p> <p>R.Abdullaev - O‘zMU, “Umumiy fizika” kafedrasini, f.-m.f.n., dotsent.</p>

Ishchi o'quv dasturga o'zgartirish va qo'shimchalar kiritish to'g'risida

_____ o'quv yili uchun ishchi o'quv dasturiga qo'yidagi o'zgartirish va qo'shimchalar kiritilmoqda:

O'zgartirish va qo'shimchalarni kirituvchilar:

(professor-o'qituvchining F.I.Sh.)

(imzosi)

Ishchi o'quv dasturga kiritilgan o'zgartirish va qo'shimchalar "Fizika-matematika" fakulteti Ilmiy-uslubiy Kengashida muhokama etildi va ma'qullandi _____ yil "____" _____dagi "____" - sonli bayonnoma).

Fakultet Ilmiy-uslubiy
Kengashi raisi:

dos.Toshtemirov.D

TARQATMA MATERIALLAR

B.B.B metodidan foydalanib o'quvchilarning bilim darajasini aniqlash.

	TUSHUNCHALAR	Bilaman	Bilishni xohlayman	Bila olmadim
1	Termodinamika			
2	Izojarayonlar			
3	Izotermik jarayon			
4	Gaz temperaturasi			
5	Izobarik jarayon			
6	Gaz bosimi			
7	Izoxorik jarayon			
8	Gaz hajmi			
9	Adiabatik jarayon			
10	Termodinamikaning I-qonuni			

“SAVOL JAVOB” METODI

1. Termodinamikaning birinchi qonuni qanday omillarga asoslanadi?
2. Adiabatik jarayon deb nimaga aytiladi? va unga misollar keltiring?
3. Nima uchun Termodinamikaning birinchi qonuni abadiy tur dvigatellarini inkor etishini tushuntirib bering.
4. Issiqlik dvigatellarining ishlash prinsipida Termodinamikaning birinchi qonunini qanday o'rin tutadi?

1. FSMU texnologiyasi bo'yicha jadvalni to'ldiring

Savol	Statsionar va nostatsionar quvoshqoqlik orasida qanday bog'liqlik bor?
(F) Fikringizni bayon eting	
(S) Fikringiz bayoniga sabab ko'rsating	
(M) Ko'rsatgan sababingizni isbotlovchi dalil keltiring	
(U) Fikringizni umumlashti-ring	

B.B.B. usuli asosida bilimlarni sinash uchun tarqatma meteriallar

	Tushuncha	Bilaman "+", Bilmayman "-".	Bildim "+", Bila olmadim "-".
1	Qovushqoqlik		
2	Ichki ishqalanish kuchi		
3	Statsionar qovushqoqlik		
4	Nostatsionar qovushqoqlik		
5	Qovushqoqlik koefsiyenti		
6	Kinematik yopishqoqlik		
7	Viskozimetriya		
8	Ichki ishqalanish koefisienti birligi		
9	Ichki ishqalanish koefisientini hisoblash		

MOLIKULYAR FIZIKA FANIDAN TEST SAVOLLARI

Gaz bosimi qanday hosil bo'ladi

Gaz molekularini bir- biriga urilishlari natijasida

Gaz molekularini uzaro itarilishlari natijasida

Gaz molekularini uzaro tortishishlari natijasida

*Gaz molekularini ideal devorlari bilan urilishlari natijasida

Broun harakati deb

Gaz molekularini tartibsiz harakatiga

Suyuklik molekularini tartibsiz harakati

Suyuklik va gaz molekularini tartibsiz harakati

* Suyuklik yonigacha tushirilgan kattik jism zarrachalarini tartibsiz harakatiga aytiladi.

Moddaning issiqlik sig'imi deb

*Temperaturani 1 K ga o'zgartirish uchun jismga berish yoki undan olish kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

Temperaturani 1 K ga o'zgartirish uchun 1 kg massali jismga berish yoki undan olish kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi

Bir jism ikkinchisiga mexnatida yoki nuralanishda uzatiladigan energiyaga aytiladi

Yuqori temperaturali jismdan past temperaturali jismga ish bajarish yo'li bilan uzatiladigan energiya

Termodinamikani 1 – qonuni izotermik jaraonga tadbiri ko'rsatilgan to'g'ri javobni aniqlang.

$$A = -\Delta U$$

$$A = A + \Delta U$$

$$* Q = A$$

$$Q = \Delta U$$

Ideal gaz hajmini izotermik o'zgarishida bajarilgan ish

$$A = \frac{m}{\mu} T \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$A = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{v_1}{v_2}$$

$$A = C_v (T_1 - T_2)$$

$$* A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

Politropik jarayon tenglamasini ko'rsating

$$* PV^n = const$$

$$PV^\gamma = const$$

$$\frac{V}{T} = const$$

$$\left(\frac{\rho}{T}\right)^\gamma = const$$

Molekulaning vaqt birligi ichidagi o'rtacha to'qnashishlar soni

$$* z = 4\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n$$

$$z = 2\sqrt{2}\pi r^2 \bar{v} n^2$$

$$z = \sqrt{2}\delta \bar{v} n$$

$$z = \sqrt{2}\delta \bar{v}^3 n$$

Diffuziya koeffisientining ifodasini ko'rsating

$$* D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v}$$

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v} \rho$$

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v} \rho C_v$$

$$D = \frac{1}{3} \rho \bar{v}$$

Ichki ishqalanish hodisasi deb qanday hodisaga aytiladi?

Bir-biriga tegib turgan moddalarni konsentratsiyalar farqi tufayli siljishi

*Tezligi katta bo'lgan katlamdan tezligi kichik bo'lgan katlamga impulsni uzatilishi

Gazni yuqori temperaturali kismidan past temperaturali kismiga karab issiqlik okimining hosil bulishi

Suyuklikning yuqori temperaturali kismidan past temperaturali kismiga karab issiqlik okimining hosil bulishi

Ko'chish koeffisientlari orasidagi munosabat qaysi bandda keltirilgan?

$$\chi = \eta C_v$$

$$D = \frac{\chi}{\eta C_v}$$

$$* D = \frac{\chi}{\rho C_v}$$

$$\eta = \chi \circ C_v$$

Van – der –Vaals tenglamasidagi "b" tuzatma nimani hisobga oladi?

*Molekulalar orasidagi itarishish kuchlarini

Molekulalar orasidagi tortishish kuchlarini

Molekulalarini harakatini

Molekulalarini massalarini

Van – der –Vaals tenglamasidagi "a" tuzatma nimani hisobga oladi?

Molekulalar orasidagi itarishish kuchlarini

*Molekulalar orasidagi tortishish kuchlarini

Molekularini harakatini
Molekularini massalarini

Kritik temperatura deb qanday temperaturaga aytiladi?

*Van – der – Vals tenglamasini ildizlari karrali bo‘lib qoladigan temperatura
Moddalarining turli holatlari orasidagi temperatura

$$T_k = \frac{8}{27Rb} \text{ formula bilan aniqlanadigan temperatura}$$

$$T_k = \frac{8}{27b} \text{ formula bilan aniqlanadigan temperatura}$$

Termodinamik muvozanat xolati deb qanday holatga aytiladi

Sistemaning holatini belgilovchi makroskopik kattaliklar o‘zgaruvchan bo‘ladi

*Har qanday molekular sistemaning unga tashki kuchlar ta’sir kilmaganda utadigan xolatidir

Har qanday molekular sistemaning unga tashki kuchlar ta’sir qilganda utamaydigan xolati

Har qanday molekular sistemaning unga tashki kuchlar ta’sir qilmagandagi xolati

Karno sikli qanday jarayonlardan tuzilgan?

*Ikkita adiabata va ikkita izoterma

Ikkita adiabata va ikkita izobara

Ikkita adiabata va ikkita izoxora

Ikkita izoterma va ikkita izobara

Ideal issiqlik mashinasini F.I.K ni ifodalovchi formulani ko‘rsating.

$$\eta = \frac{A_\phi}{A_s} \circ 100\% \quad \eta = \frac{A}{Q_1} \circ 100\% \quad \eta = \frac{R}{R+2} \circ 100\% \quad * \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \circ 100\%$$

Entropiya ifodasini ko‘rsating.

$$* s = \int \frac{dQ}{T} \quad s = \int \frac{d\mu}{T} \quad s = \int \frac{du}{T} \quad s = pdV$$

Real gaz ichki energiyasi ifodasini ko‘rsating.

$$* U = C_v T - \frac{a}{v} \quad U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT \quad U = \frac{3}{2} RT \quad U = \frac{3}{2} KT$$

Siqiluvchanlikni o‘lchash uchun ishlatiladigan asbobni ko‘rsating

*Pezometr

Bolometr

Areometr

Dinamometr

Suyuqlikni issiqlikdan hajmiy kengayish koeffisientini o‘lchaydigan asbobni ko‘rsating

Pezometr

Bolometr

Areometr

*Dilatometr

Qovushqoqlik koeffisientini o‘lchash uchun ishlatiladigan asbobni ko‘rsating

*Viskozimetr

Dilatometr

Bolometr

Pezometr

Qisman ho‘llash hodisasini shartini ko‘rsating

$$* \theta < \frac{\pi}{2} \quad \theta > \frac{\pi}{2} \quad \theta = \pi \quad \theta = 0$$

Osmotik bosim deb qanday bosimga aytiladi?

*Ergan moddaning gazsimon xolatida shu temperaturada va xuddi shu hajmda kursatishi mumkin bo‘lgan bosimdir

Erituvchi yarim singdiruvchan porshenga kursatayotgan kuchi

Gaz molekularini idish devorlariga bosimi

Gaz molekularini idish tubiga beradigan bosimi

Joul – Tomson effekti deb qanday xodisaga aytiladi?

Gazning drosellash yo‘li bilan bir o‘zgarimas bosimdan ikkinchi o‘zgarimas bosimga adiabatik kengayishida gaz temperaturasi o‘zgarish hodisasiga aytiladi

Gazni drosellash yo‘li bilan bir o‘zgarimas bosimdan ikkinchi o‘zgarimas bosimga adiabatik siqilishida gaz temperaturasi o‘zgarish hodisasiga aytiladi

Gazni temperaturasi adiabatik kengayish protsessii natijasida o‘zgarishi

* Gazning drosellash yo‘li bilan bir o‘zgarimas bosimdan ikkinchi o‘zgarimas bosimga adiabatik kengayishida va siqilishida gaz temperaturasi o‘zgarish hodisasiga aytiladi

Ideal gaz bosimi. (Molekular kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi)

$$PV = \frac{m}{\mu} KT \quad P = nKT \quad P = \frac{2}{3} n \frac{5mv^2}{2} \quad * P = \frac{1}{3} m_0 n v^2$$

1°C temperatura (temperatura shkalasi) qanday tanlanadi.

Suvning qaynash temperaturasi

* Muz erish temperaturasi 0°C, suv qaynash temperaturasi 100° shu temperatura intervalini 100 ga bo‘lib 1 bo‘lagi 1°S deb ataladi

Muzning erish temperaturasi

Suvni qotish temperaturasi

Absolyut temperatura shkalasi

Absolyut nuktani o‘z ichiga olgan shkalani, absolyut shkala deb ataladi

Temperatura birligi 1°S deb qabul qilingan shkala

Temperatura birligi 1 K deb qabul qilingan shkala

* Birinchi va ikkinchi javoblar

Absolyut temperatura shkalasi qanday tuziladi?

Shkalani pastki chegarasi 273 K deb olinadi

* Absolyut noldan suvning uchlanma nuktasigacha temperatura intervalining $\frac{1}{273,16}$ bulagi 1K

deb olinadi.

Shkalani pastki chegarasi 0°C deb olinadi

Temperatura birligi 1 K deb olinadi

Barometrik formula qaysi bandda keltirilgan?

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho gh}{KT}} \quad P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}} \quad P = nKT \quad * P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

Boltsman qonuni qaysi bandda keltirilgan?

$$P = nKT \quad * n = n_0 e^{-\frac{mgh}{KT}} = n_0 e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad PV = RT \quad P = P_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

Molekularning tezlik komponentalari buyicha taqsimoti qaysi bandda keltirilgan?

$$f(v_x) = e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad * f(v_z) = \left(\frac{m}{2\pi KT}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad f(v_z) = e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

$$f(v_z) = e^{-\frac{1}{2KT} \frac{mv^2}{x}}$$

Molekularning tezlik buyicha taksimoti (Maksvell taksimoti)ni ko‘rsating.

$$* f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi KT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad f(v_z) = \left(\frac{m}{2\pi KT}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad f(v_x) = e^{-\frac{mv^2}{2KT}}$$

$$f(v_z) = e^{-\frac{mgh}{KT}}$$

Molekularning o‘rtacha arifmetik tezligi qaysi bandda keltirilgan?

$$v = \sqrt{\frac{3KT}{\mu}} \quad v = \sqrt{\frac{2KT}{\mu_0}} \quad * \bar{v} = \sqrt{\frac{8KT}{\pi m}} \quad v = \sqrt{\frac{8KT}{\mu}}$$

Molekularning o‘rtacha kvadratik tezligi formulasi qaysi bandda keltirilgan?

$$* \overline{v^2} = \frac{3KT}{m} \quad v = \sqrt{\frac{8KT}{\mu}} \quad v = \sqrt{\frac{2KT}{\mu_0}} \quad v = \sqrt{\frac{3KT}{\mu_0}}$$

Molekularning eng katta extimolli tezligi tezligi formulasi qaysi bandda keltirilgan?

$$* v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2KT}{m}} \quad v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad v = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}} \quad v = \sqrt{\frac{8KT}{m_0}}$$

Vaqt birligida to'qnashuvlar soni formulasi qaysi bandda keltirilgan?

$$* Z = 4\sqrt{2}\pi r^2 \cdot \bar{v}n \quad Z = \frac{1}{\sqrt{2}}\pi v^2 rn \quad Z = 2\sqrt{2}\pi vr^2 n \quad Z = \pi r^2 vn$$

2 g azot 2 atm. bosim ostida 820 sm³ hajmni egallasa uning temperaturasi qanday bo'ladi?

11⁰C

* 7⁰C

4⁰C

8⁰C

20⁰C temperaturada 750 mm. sim ust. bositda 10 g kislorod qanday hajmni egallaydi?

* 7,6 · 10⁻³ M³

7,6 · 10⁻⁴ M³

5,4 · 10⁻³ M³

7,5 · 10⁻³ M³

Sig'imi 1 g l bo'lgan ballonda 8,1 · 10⁶ H / M² bosim va 17⁰S temperaturada azot tuldirlgan.

Ballonda kancha azot bor?

* 1,13 kg

1,11 kg

1,1 kg

1,14 kg

27⁰C temperaturada 760 mm.sim.ust bosimli 25 l oltingugurt gazi (SO₂) ning massasi topilsing.

0,064 kg

0,06 kg

* 0,065 kg

0,063 kg

2 l hajmli yopiq idishdagi 20⁰C temperaturali 5 g azot 40⁰C temperaturagacha isitilgan.

Gazning isitilishidan oldingi va keyingi bosimi topilsin.

$$* \rho_1 = 1,08 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2 \quad \rho_1 = 1,09 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2 \quad \rho_1 = 1,1 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

$$\rho_2 = 1,16 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2 \quad \rho_2 = 1,17 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2 \quad \rho_2 = 1,17 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

$$\rho_1 = 1,17 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

$$\rho_2 = 1,1 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

2 · 10⁻³ M³ hajmli idish 6 g karbonat angidrid (SO₂) va 5g azot (I) oksidi (N₂O) bilan tuldirlgan 127⁰S temperaturada idishdagi umumiy bosim qanday?

$$4,5 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

$$\rho = 4,2 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

$$\rho = 4,15 \cdot 10^4 \text{ H / cM}^2$$

$$* \rho = 4,15 \cdot 10^5 \text{ H / M}^2$$

Biror gazning zichligi 6 · 10⁻² K₂ / M³ ga, molekularning o'rtacha kvadratik tezligi esa 500 m/sek ga teng. Gazning idish devoriga ta'sir qilgan bosimi topilsin

$$* 5 \cdot 10^3 \text{ H / M}^2$$

$$3 \cdot 10^3 \text{ H / M}^2$$

$$4 \cdot 10^4 \text{ H / M}^2$$

$$4 \cdot 10^4 \text{ H} / \text{M}^2$$

20°C temperaturada vodorod molekulasining harakat miqdori topilsin. Molekulaning tezligini o'rtacha kvadratik tezlikka teng deb hisoblansin

$$6,3 \cdot 10^{-23} \text{ KZM} / \text{C}$$

$$* 6,3 \cdot 10^{-24} \text{ KZM} / \text{C}$$

$$6,3 \cdot 10^{-24} \text{ ZM} / \text{C}$$

$$6,2 \cdot 10^{-23} \text{ KZM} / \text{C}$$

Normal sharoitda biror gazning o'rtacha kvadratik tezligi 461 m/sek ga teng. bu gazning 1g dagi molekularining soni kancha

$$1.86 \cdot 10^{23}$$

$$1.88 \cdot 10^{20}$$

$$1.86 \cdot 10^{22}$$

$$* 1.88 \cdot 10^{22}$$

7°C temperaturada 1 kg dagi azot molekularining aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng?

$$* 8.3 \cdot 10^4 \text{ Ж}$$

$$8.4 \cdot 10^5 \text{ Ж}$$

$$8.4 \cdot 10^6 \text{ Ж}$$

$$8.2 \cdot 10^4 \text{ Ж}$$

Ixtiyoriy massali gaz uchun ichki energiya ifodasini aniqlang

$$* U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \quad U = \frac{m}{\mu} PV \quad U = \frac{i}{3} RT \quad U = \frac{i}{3} \nu RT$$

Gaz molekularining idish devoriga kursatadigan bosimi formulasini toping

$$P = \frac{2}{3} mv^2 \quad * P = \frac{2}{3} nmv^2 \quad P = \frac{2}{3} nv^2 \quad P = \frac{1}{3} mv^2$$

Bir kilomol gazining issiqlik sig'imini ifodasini ko'rsating

$$* C_v = \frac{i}{2} R \quad C_v = \frac{i}{2} RT \quad C_v = \frac{i}{6} R \quad C_v = \frac{i}{8} R$$

O'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi ifodasini ko'rsating

$$* C_p = C_v + R \quad C_p = C + RT \quad C_p = C + R \quad C_v = C_p + R$$

Sistema birinchi xolatdan ikkinchi xolatga utganda V=const bulsa qanday jarayon deyiladi

Izoxorik jarayon

Izobarik jarayon

Izotermik jarayon

Adiabatik jarayon

Sistema birinchi xolatdan ikkinchi xolatga utganda R=const bulsa qanday jarayon deyiladi

Izoxorik jarayon

* Izobarik jarayon

Izotermik jarayon

Adiabatik jarayon

Sistema birinchi xolatdan ikkinchi xolatga utganda T=const bulsa qanday jarayon deyiladi

Izoxorik jarayon

Izobarik jarayon

* Izotermik jarayon

Adiabatik jarayon

Agar sistemada issiqlik almashinuvi sodir bulmasa (Q=0) bunga qanday sharoit deyiladi

Izoxorik jarayon

Izobarik jarayon

Izotermik jarayon

* Adiabatik jarayon

Agar 1 xolatdan 2 xolatga utgan sistema uchun 2 xolatdan 1 xolatga utish jarayoni mavjud bo'lib atrof muhitida hech qanday o'zgarish bo'lsa bu qanday jarayon deyiladi.

* Qaytar jarayon

Qaytmas jarayon

Turgun jarayon

Farqsiz jarayon

Agar 1 xolatdan 2 xolatga o'tgan sistema uchun 2 xolatdan 1 xolatga o'tishda o'zgarish bo'lsa, bunday jarayon qanday jarayon bo'ladi.

Qaytar jarayon

*Qaytmas jarayon

Turgun jarayon

Uzluksiz jarayon

Issiqlik mashinasi uchun foydali ish ko'ffisienti ifodasini ko'rsating

$$* \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \quad \eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_2} \quad \eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

Real gazlar uchun xolat (Van-der-Vaals) tenglamasini ko'rsating

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

Termodinamikaning birinchi bosh qonuni ifodasini ko'rsating

$$* Q = U_2 - U_1 + A \quad Q = U_2 + U_1 + A \quad Q = A + U \quad Q = U_2 - U_1$$

Molekula erikin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligini topish ifodasini ko'rsating

$$* \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d} \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 d} \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi^2 d^2 n}$$

Qaysi katorlarda Mendeleev – Klapeyron tenglamasi to'g'ri kursatilgan

$$Pv = \nu KT \quad * Pv = \nu RT \quad Pv = \frac{2}{3} \nu KT \quad Pv = RT$$

Molekulalarning ta'sir etuvchi kuchlari va o'lchamlari xisobga olinmaydigan darajada kichik bo'ladigan gazlarga deyiladi

* Ideal gaz

Real gaz

Universal gaz doimiysi

Inert gaz

O'rtacha kvadratik tezlik ifodasi to'g'ri kursatilgan katorni belgilang

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}; v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; v = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}; v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}; v = \sqrt{\frac{3RT}{\rho}} \quad v = \sqrt{\frac{3RT}{\rho}}; v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Eng katta extimollar tezligi ifodasini belgilang

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{3RT}{\rho}}; v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$* v = \sqrt{\frac{2kT}{m}}; v = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

O'rtacha arifmetik tezlik ifodasini belgilang

$$* v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi m}} \quad v = \sqrt{\frac{3RT}{m}} \quad v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad v = \sqrt{\frac{8RT}{\mu}}$$

Pulat xalka kizdirilsa uning teshigini radiusi qanday o'zgaradi?

o'zgarmaydi

*Kamayadi

kattalashadi

kichrayadi

Politropa kursatkichining qanday qiymatlarida ideal gaz siqilishda kiziydi, qanday qiymatlarida soviydi?

$n < 1$ bo'lganda kiziydi, $n > 1$ bo'lganda soviydi.

* $n > 1$ bo'lganda kiziydi, $n < 1$ bo'lganda soviydi.

politropa kursatkichining qiymatiga bog'liq emas.

o'zgarmaydi.

n har doim 1 dan katta

Puasson tenglamasini ko'rsating.

$$* pv^n = const$$

$$\frac{1}{n}$$

$$pv^n = const$$

$$pv = const$$

$$pv = RT$$

Qanday jarayon adiabatik jarayon deyiladi?

*Issiqlik berilmasdan va issiqlik olib ketilmasdan amalga oshadigan jarayon adiabatik jarayon deb ataladi.

tizimga tashkaridan issiqlik berilganda sodir bo'ladigan jarayon.

$V = const$ bo'lgandagi jarayon

$T = const$ bo'lgandagi jarayonga adiabatik jarayon deyiladi.

O'rtacha arifmetik tezlik ifodasini keltiring.

$$* \bar{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{8KT}{\pi\mu}} \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Qaysi jarayonda molekullarning o'rtacha kinetik energiyasi o'zgarmaydi?

Izobarik

Izoxorik

*Izotermik

Adiabatik

Normal sharoitda 500 mol kislorod gazi qancha hajmni egallaydi? (m³)

32

16

*11,2

22,4

Kritik temperatura nima?

Qaynash temperaturasi

Buglanish temperaturasi

Gazni (bugni) sikish yo'li bilan suyuqlikka aylantirib bulmaydigan eng past temperatura

*Bug zichligi suyuqlik zichligidan katta bulla boshlaydigan temperatura.

Kritik temperaturani topish formulasini aniqlang?

$$T_k = 3b \quad *T_k = \frac{8a}{27Rb} \quad T_k = \frac{a}{27b^2} \quad T_k = \frac{8ab}{27R}$$

Kritik parametrlar to'g'ri keltirilgan katorni aniqlang?

$$*V_k = 3b; p_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{8a}{27Rb}$$

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

$$V_k = 3ab; p_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{27Rb}{8a}$$

$$V_k = 3a; p_k = \frac{a}{9b^2}; T_k = \frac{6a}{27Rb}$$

Issiqlik utkazuvchanlik koefitsientining birligi qanday?

$$* \chi = \left[\frac{Bm}{m \cdot K} \right] \quad \chi = [Pa \cdot c] \quad \chi = \left[\frac{Ж}{K \cdot \text{моль}} \right] \quad \chi = \left[\frac{Ж}{K^2 \cdot \text{моль}} \right]$$

Tuyingan bug....?

*Uzining suyukligi bilan issiqlik muvozanatida bulla oladigan bug

Kup miqdorda suyuqlikda pufakchalar hosil bulishi.

Suyuqlik qaynashidan hosil bo'ladigan bug

Yopik idishda suyuqlikning qaynash.

Solishtirma issiqlik sig'imi

* Bir birlik moddaning temperaturasini 1⁰C ga o'zgartirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

100 mol moddaning temperaturasini 1⁰C ga o'zgartirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

Bir birlik moddaning temperaturasini 100⁰C ga o'zgartirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

1 mg moddaning temperaturasini 1⁰C ga o'zgartirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi

Ideal gaz bosimi qaysi bandda to'g'ri berilgan?

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad * p = nkT \quad pV = \frac{3}{2} RT \quad p = const$$

Adiabatik jarayonda bajarilgan ish ifodasini ko'rsating?

$$* A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right] \quad A = const \quad A = \frac{m}{\mu} RT \quad A = pV^n$$

Molekulaning turgun muvozanat vaziyati qanday xolatga to'g'ri keladi?

Potensial energiya maksimumiga

*Potensial energiya minimumiga

Kinetik energiya maksimumiga

Potensial va kinetik energiya yigindisining maksimumiga

Broun harakati nima?

Molekulalarning tartibli yunalgan harakati

*Molekulalarning uzluksiz xaotik harakati

Bir molekulaning tartibli harakati

Qattiq jismdagi molekulalarning okimi

Temperatura bu...?

*Molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi ulchovi.

Molekulalarning 0⁰ K dagi energiya o'lchovi

Molekulalarning modda muzlagan paytdagi energiya o'lchovi

Molekulalar potensial energiya o'lchovi

Termometrlar turlari?

Gazli, suvli

Termopara, spirtli, atsetonli

*Simobli, spirtli, elektrotermometrlar

Simobli, volframli.

Ideal gaz deb...ga aytiladi?

*Molekulalar- o'lchamlarini, orasidagi ta'sir kuchlarini xisobga olinmaydigan gaz

Molekulani o'lchamlari xisobga olinmaydigan gaz

Fakatgina itarishish kuchlari xisobga olinadigan gaz

Fakatgina tortishish kuchlari xisobga olinadigan gaz
Stoks qonunini ko'rsating?

$$* F = 6\pi\eta r \vartheta \quad F = 3\pi\eta r \vartheta \quad F = \frac{3}{2}\pi\eta r \vartheta \quad F = \frac{11}{2}\pi\eta r \vartheta$$

Joul- Tomson effektida?

Past temperaturada gaz kengayishda soviydi va isiydi

Yuqori temperaturada gazlar kengayishda soviydi

*Past temperaturada barcha gazlar kengayishda soviydi

Past temperaturada barcha gazlar kengayishda qizadi

Havo namligini o'lchaydigan asbob?

Barometr

Termometr

Aneroid- barometr

*Assman psixrometri

Normal sharoitlarda azotning ichki ishqalanish koeffisienti η ni toping, bu sharoitlarda diffuziya koeffisienti azot uchun $D=1,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ga teng.

$$\eta = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^2 / \text{M} \cdot \text{C}$$

$$* \eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^2 / \text{M} \cdot \text{C}$$

$$\eta = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^2 / \text{M} \cdot \text{C}$$

$$\eta = 10^{-5} \text{ K}^2 / \text{M} \cdot \text{C}$$

Qaysi qatorda yopishkoklik koeffisienti (ichki ishqalanish koeffisienti) ifodasi to'g'ri keltirilgan?

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} D \rho \quad \eta = \frac{5}{2} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho \quad * \eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho \quad \eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho C_v$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti ifodasini ko'rsating.

$$\chi = \frac{1}{3} \bar{\lambda} D \rho \quad \chi = \frac{5}{2} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho \quad \chi = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho \quad * \chi = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{\vartheta} \rho C_v$$

1 sm^3 dagi vodorod molekulari soni n_0 ni toping. Bosimi $p=200 \text{ mm.sim.ust}$,

molekulalarning berilgan sharoitdagi o'rtacha kvadratik tezligi $\bar{\vartheta} = 2400 \text{ M} / \text{C}$

$$* n_0 = 4,15 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-3}$$

$$n_0 = 8,3 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-3}$$

$$n_0 = 2 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-3}$$

$$n_0 = 10^5 \text{ m}^{-3}$$

Erkinlik darajasi soni ko'p atomli molekular uchun qanchaga teng?

$$2 \quad 1 \quad 5 \quad *6$$

Statsionar diffuziya koeffisienti formulasi qaysi bandeda keltirilgan?

$$* D = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda \quad D = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda \rho \quad D = \frac{1}{3} n \lambda \quad D = \frac{1}{3} \lambda v c_v$$

Statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti formulasi qaysi bandeda keltirilgan?

$$* \chi = \frac{1}{3} \bar{\rho} \bar{v} \lambda c_v \quad \chi = \frac{1}{3} \rho \quad \chi = \frac{1}{3} n \lambda \quad \chi = \frac{1}{3} \lambda v c_v$$

Gazlarda ichki ishqalanish koeffisienti formulasi qaysi bandeda keltirilgan?

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\rho} \bar{v} \lambda c_v \quad * \eta = \frac{1}{3} \bar{\rho} \bar{v} \lambda \quad \eta = \frac{1}{3} n \lambda \quad \eta = \frac{1}{3} \lambda v c_v$$

NAZORAT SAVOLLARI

I. MOLEKULYAR-KINETIK NAZARIYA

1. Gazda molekullarning o'rtacha kvadratik tezligini kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi yordamida hisoblash uchun gazning qaysi parametrlarini o'lchash lozim?
2. Molekullarning idish devori bilan urilishining molekulyar- kinetik talqinidan kelib chiqib adiabatik siqilishda gazning isishini ko'rsating.
3. Normal sharoitda kislorod va azot molekullari qanday Erkinlik darajalariga ega bo'ladi?
4. energiyaning qanday o'lchovi aylanma Erkinlik darajasiga o'tadi? Normal sharoitda tebranma Erkinlik darajasigachiq
5. Gaz bosimi atom va molekullarning ichki (aylanma, tebranma) Erkinlik darajalariga bog'liqligi?
6. Qayerda atom ko'p: bir stakan suvdami yoki bir stakan simobdami?
7. Qanday molekullar atmosferada tezroq harakat qiladi: azot molekulasi yoki kislorodnikimi? Molekullar to'qnashuvining oddiy akti asosida tushuntiring.
8. Yopiq idishda ideal gaz bor. Agar gaz molekullarining o'rtacha kvadratik tezligi 1,5 marta ortsa, uning bosimi qanday o'zgaradi?
9. Molekullar harakatini tasdiqlovchi fizik hodisalardan misol keltiring. Qattiq, suyuq va gaz holatdagi jismlar molekullarining xarakteri qanday?
10. Molekullar o'rtasida tortishish va itarishish kuchlari mavjudligini tasdiqlovchi fizik hodisalardan misol keltiring.
11. Tabiatda turli atom va molekullar qancha?
12. Ideal gaz bosimini molekulyar-kinetik nazariya asosida tushuntiring.
13. Boyle'-Mariott qonuni molekulyar-kinetik nazariya asosida tushuntiring.
14. Ideal gaz molekullari kontsentratsiyasi 2 marta ortdi, molekullarning ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi esa 2 marta kamaydi. Bunda bosim kamaydimi?
15. Temperaturaning molekulyar-kinetik ma'nosi nimadan iborat?
16. 0°S temperaturada azot va geliy molekullarining issiqlik tezligini taqqoslang.
17. Bir idishda kislorod, ikkinchisida vodorod bor. Molekullar kontsentratsiyasi va temperatura bir xil bo'lgan holda kislorod bosimi vodorod bosimidan qanday farq qiladi?
18. Bosim va molekullar kontsentratsiyasi orasida qanday bog'lanish bor?

II. IDEAL GAZ QONUNLARI. HOLAT TENGLAMASI

1. Izotermik protsessdagi o'zgarmas massali ideal gazning R_1V ; V_1T ; R_1T koordinatalaridagi grafigini yasang.
2. Izobarik protsessdagi o'zgarmas massali ideal gazning R_1V ; V_1T ; R_1T koordinatalaridagi grafigini yasang. Turli bosimlardagi gaz izobarlari grafiklarida qanday joylashgan?
3. Izoxorik protsessdagi o'zgarmas massali ideal gazning R_1V ; V_1T ; R_1T koordinatalaridagi grafigini yasang. Gazning turli hajmdagi izoxorlari qanday joylashgan?
4. Holat tenglamasi nimani anglatadi?
5. Gazni qanday sharoitda va qanday farazlar bilan ideal deyish mumkin? O'z hossalari bilan ideal gazga yaqin bo'lgan real gazlardan misol keltiring.
6. Ixtiyoriy massali gaz uchun holat tenglamasini yozing.
7. Ideal gaz hajmi va absolyut temperaturasi 2 marta ortganda uning bosimi qanday o'zgaradi?
8. Nima uchun bir xil bosimda issiq havo sovuq havodan engil bo'ladi?
9. Havo sharini puflashda undagi havo bosimi va temperaturasi o'zgarmas, shar hajmi esa sezilarli darajada kattalashadi. Bu holni Boyle'-Mariott qonuni bilan tushuntirib bo'ladimi?
10. Nima uchun qizigan meditsina bankasi tanaga «so'rib o'pishadi»?
11. Par bilan isitish batareyalari nima uchun pol yaqiniga joylashtiriladi?

12. Ideal gaz holatini aniqlash uchun qanday parametrlar berilishi kerak?
13. Qanday gazni ideal deyiladi?
14. Sistemaning qanday holati «Termodinamik muvozanat» holati deyiladi?
15. Qanday protsess «kvazistatik protsess» deyiladi?
16. Nima uchun faqat kvazistatik grafik ravishda tasvirlash mumkin?
17. Gaz molekullari kontsentratsiyasi o'zgarish temperaturada ostida 2 marta kamaydi. Bu holda qaysi parametrlar o'zgaradi?
18. Mendeleev-Klapeyron tenglamasi qaysi parametrlar orqali ifodalanadi?
19. Quyidagi protsesslar uchun gaz kontsentratsiyasi qanday o'zgaradi: izotermik, izobarik, izoxorik?

III. MOLEKULALARNING TEZLIGI VA ENERGIYASI BO'YICHA TAQSIMOTI. MAKSVELL VA BOL'TSMAN QONUNLARI

1. Maksvell taqsimoti juda katta tezliklarni inkor etmaydi. Bu xolni gaz molekullarining to'la kinetik energiyasining cheklanganligi bilan qanday bog'lash mumkin?
2. Dirijabl' va aerostat mexanizmlarida ko'tarish kuchining yuzaga kelishida farq bormi?
3. Temperatura o'zgarishi bilan Maksvell taqsimotini tasvirlovchi egri chiziq shakli qanday o'zgaradi?
4. Kolbada kolloid eritmasi bor. Temperatura o'zgarishi bilan zarralarning balandlik bo'yicha taqsimoti va zarralar og'irlik markazining joylashishi qanday o'zgaradi?
5. Planetalarda atmosferaning mavjudligi nimaga asoslanadi? Nima uchun oyda atmosfera yo'q?
6. Nima uchun Yer atmosferasida vodorod molekullari yo'q?
7. Ba'zi gazlar massasi o'zgarishsiz holda bir muvozanat holatidan ikkinchi muvozanat holatiga o'tadi. Bunday xollarda gaz molekullarining tezliklari bo'yicha Maksvell taqsimotida egri chiziq maksimumining joylashishi o'zgaradimi?
8. Dengiz sathidan ko'tarilgan sara havodagi karbonad-angidridning protsent hisobidagi miqdori o'zgaradimi?
9. Muvozanat holatida gaz molekullarining tezliklari bo'yicha taqsimoti qanday bo'ladi? Qanday tajribalar molekullarning tezliklari bo'yicha taqsimoti nazariyasi xulosalarini tasdiqlaydi?

IV. TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI VA UNING IDEAL GAZLARGA TADBIQI

1. Ideal gazning ichki energiyasi deb nimaga aytiladi? U qanday omillar asosida vujudga keladi?
2. Termodinamikada gazning «elementar» ishi qanday aniqlanadi? U qanday parametrlarga bog'liq? Bu funktsional bog'lanishning turli Termodinamik protsesslar (izoxorik, izobarik, adiabatik) uchun analitik ifodasi qanday bo'ladi? Bu protsesslarda gazning ishi grafik ravishda qanday aniqlanadi?
3. Gazning issiqlik sig'imiga, solishtirma issiqlik sig'imiga, molyar issiqlik sig'imiga izoh bering.
4. Ideal gaz issiqlik sig'imi uning holatining o'zgarish protsessiga bog'liqligini ko'rsating.
5. C_p va C_v orasida qanday munosabat bor? Bu issiqlik sig'imlarining fizik ma'nosi qanday?
6. Gazning erkinlik darajalari soni deganda nima tushuniladi? Bu son nimaga bog'liq? Bir atomli, ikki atomli, ko'p atomli gazlar uchun u nimaga teng?
7. Termodinamikaning birinchi qonunini yozing. Bu qonun izoxorik, adiabatik, izotermik, izobarik protsesslar uchun qanday ko'rinishlarga ega?
8. Termodinamikaning birinchi qonuni qanday umumiy qonunning ifodasi hisoblanadi?

9. O'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imidan qanday fizik kattalikka farq qiladi?
10. R. Mayyer tenglamasini yozing. Gaz doimiysining fizik ma'nosi nimadan iborat?
11. berilgan gaz uchun $C_p / C_v = \gamma$ nisbat, agar gaz molekullari atomlarga parchalansa o'zgaradimi?
12. berilgan gazning molyar va solishtirma issiqlik sig'implari bir-biri bilan qanday bog'langan?
13. C_p va C_v issiqlik sig'implarini aniqlash uchun qanday hollarda issiqlik sig'imining klassik nazariyasi tasavvurlaridan foydalanish mumkin?
14. Ideal gaz issiqlik sig'imining qiymati qaysi oraliqlarda yotadi?
15. Adiabatik protsessda temperatura va bosim orasidagi bog'lanishni qanday topiladi? Uni RT koordinatalarda grafik ravishda tasvirlang.
16. Qanday protsess adiabatik deyiladi? Qanday usullarda va qanday farazlar yordamida adiabatik protsessni amalga oshirish mumkin?
17. Agar gaz a) izotermik, b) adiabatik, v) izobarik kengaysa, uning V_1 dan V_2 gacha kengayishini grafik ravishda solishtirish mumkinmi?
18. Ideal gaz izobarik, izotermik, izoxorik, adiabatik protsesslari IT koordinatalarda qanday tasvirlanadi? W – ideal gazning ichki energiyasi.
19. P_v ko'paytma bir atomli gaz uchun ichki energiyaning $2/3$ qismiga, ikki atomli gaz uchun $2/5$ qismiga tengligini qanday ko'rsatish mumkin? Buning uchun qanday munosabatlardan foydalanish kerak?
20. Adiabatik protsessda adiabata ko'rsatkichi bir atomli gaz uchun, ikki atomli gaz uchun va ko'p atomli gaz uchun nimaga teng?
21. Ideal gaz $P=BV^n$; $n<1$ qonuni bo'yicha kengaysa isiydimi yoki soviydimi? B – o'zgarmas kattalik.
22. Ideal gaz bajaradigan ish gazning issiqlik sig'imiga (gaz molekulasidagi atomlar soniga) bog'liqmi? Buni molekulyar-kinetik nazariya asosida tushuntiring.
23. Qanday protsesslarda sistema ichki energiyasi o'zgaradimi? Qanday sharoitda sistema energiyasining o'zgarishi sistema bajargan tashqi ishga teng bo'ladi? Sistema sifatida ideal gaz qaralsa ichki energiya o'zgarishi qanday bo'ladi?
24. Adiabatik va izotermik protsesslarda ideal gaz bajargan ish formulasini yozing.
25. Nima uchun velosiped nasosi shinaga havo haydaganda qiziydi?
26. Izotermik protsessda gazning issiqlik sig'imi qanday bo'ladi?
27. Bir xil massali a) argon va geliy; b) argon va kislorod bir xil sharoitda 10^0 ga isitildi. Qaysi gazni isitish uchun ko'proq issiqlik talab etiladi?
28. Gazni issiqlik uzatmay isitish mumkinmi? Gazni issiqlik chiqarmay isitib bo'ladimi?
29. Gazning issiqlik sig'imi manfiy bo'lishi mumkinmi?
30. Qanday usullar bilan gazning ichki energiyasini o'zgartirib bo'ladi?
31. Gazni qanday sovitish qulay: izobarikmi yoki izoxorikmi?

V. GAZLARDAGI KO'CHISH HODISALARI

1. Gaz molekularining tezligi oddiy sharoitlarda sekundiga yuzlab metrlarda o'lchanadi. Nima uchun diffuziya gazlarda bir muncha sekinroq bo'ladi?
2. Temperatura ko'tarilishi bilan diffuziya tezligining ortishini qanday tushuntirish mumkin?
3. Molekulalarning erkin yugurish uzunligi deb nimaga aytiladi? Formulasini yozing. Gaz holati qanday parametrlarga bog'liq va bu bog'lanish qanday?
4. Gazlardagi qanday protsesslar ko'chish hodisasiga kiradiq Bu protsesslardagi umumiylik qanday? Ular qaytar protsess hisoblanadimi?
5. Diffuziya hodisasining ma'nosi nima? Diffuziya tenglamasini yozing. O'zdiffuziya va o'zarodiffuziya hodisalari o'rtasidagi farq nimada?
6. Diffuziya koeffitsientining fizik ma'nosi nimadan iborat? U qanday formula bilan aniqlanadi?
7. Ichki ishqalanish hodisasining mohiyati qanday? Ichki ishqalanishni ifodalovchi formulani yozing.
8. Ichki ishqalanish koeffitsientining fizik ma'nosi qanday? U qanday formula bilan aniqlanadi? Dinamik va kinematik yopishqoqlik koeffitsientlari orasidagi bog'lanish qanday?
9. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasining mohiyati nimadan iborat? Issiqlik o'tkazuvchanlik formulasini yozing.
10. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining fizik ma'nosi qanday? U qanday formula bilan aniqlanadi?
11. Diffuziya koeffitsienti, ichki ishqalanish koeffitsienti (dinamik yopishqoqlik), issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti gaz holatining qanday parametrlariga bog'liq? Bu bog'lanishlarni har-birini tushuntiring.
12. Quyidagi ko'chirish protsesslarining qaysilari stasionar, qaysilari nostasionar protsesslarga kiradi: diffuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik, yopishqoqlik Qanday sharoitlarda stasionar protsesslarni nostasionar deyish mumkin?
13. Molekulalarning juda katta tezliklardagi issiqlik harakati bilan oqibatda ko'chirish protsesslariga aylanadigan sistemani muvozanatlovchi jarayonlarning juda sekin kechishi o'rtasidagi qarama-qarshilikning sababi nimada?
14. Erkin yugurish yo'li formulasini keltirib chiqarishda molekularning idish devorlariga urilishini hisobga olish zaruriymi?
15. Molekulalarning erkin yugurish yo'li «l» bosimga qanday bog'langanq Har qanday bosimda ham bu bog'lanish bir xilmiq «l» temperaturaga bog'liqmi?
16. Tezlik, temperatura zichlik gradientlarining fizik ma'nosi qanday?
17. Erkin yugurish yo'li tushunchasi asosida «vakuum» qanday tushuniladi? Nima uchun vakuum tushunchasi nisbiy?
18. Diffuziya koeffitsienti temperaturaga bog'liqligini qanday ko'rsatish mumkin? Bu bog'lanish qanday?
19. Diffuziya koeffitsienti D ning, ichki ishqalanish koeffitsienti η ning, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti χ ning o'lchamliligi qanday? Bu koeffitsientlarning har biri SI sistemasida qanday birliklarda o'lchanadi?

VI. TSIKLIK PROTSESLAR, KARNO TSIKLI, TSIKLNING FOYDALI ISH KOEFFITSIENTI. ENTROPIYA. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

1. R-V o'zgaruvchilik diagrammada tsikl egri chizig'i bilan chegaralangan yuzaning fizik ma'nosi qanday?
2. berilgan tsikl diagrammasi orqali mashina issiqlik mashinasimi yoki sovitish mashinasi ekanligini qanday aniqlash mumkin?
3. Tsiklning adiabatik uchastkasidagi ishni hisoblash mumkin bo'lishi uchun qaysi parametrlar ma'lum bo'lishi kerak?

4. Holat parametrlari nechta va izotermik uchastkadagi ishni bajarish uchun qaysilari berilishi zarur?
5. Tsiklning izotermik va izoxorik uchastkasida qabul qilingan yoki chiqarilgan issiqlik miqdorini aniqlash uchun qaysi parametrlar berilishi zarur?
6. Issiqlik mashinasi foydali ish koeffitsientini qaysi kattaliklar yordamida aniqlash mumkin?
7. Sovitish mashinasining sovitish koeffitsienti qanday aniqlanadi?
8. Isitgich chiqargan issiqlik miqdori ishchi jismning massasiga bog'liqmi?
9. Isitgich chiqargan issiqlik miqdori ishchi jismning massasiga bog'liqmi?
10. Ishchi jism va issiqlik mashinasining bir tsiklda bajargan ishi ishchi jismning massasi va issiqlik sig'imiga bog'liqmi?
11. Agar ideal issiqlik mashinasida ishchi jism sifatida qo'llaniladigan bir atomli gaz o'rnida xuddi shunday miqdordagi ikki atomli gaz qo'llanilsa nima o'zgaradi?
12. Balondagi siqilgan gaz siqilgan prujinanikiday potentsial energiya zapasiga ega bo'ladi degan fikr to'g'rimi?
13. Entropiya funktsiyasining differentsiali ΔS ni qaysi o'zgaruvchilar orqali va qanday yozish mumkin? Termodinamikaning ikkinchi qonunini entropiya orqali yozish mumkinmi?
14. Qaytar va qaytmas protsesslar uchun entropiya qanday o'zgaradi? Qaytar va qaytmas protsesslar uchun $S = \frac{Q}{T}$ ning ma'nosi nima?
15. Adiabatik protsess uchun entropiya o'zgarishi nimaga teng?
16. Ideal gaz bo'shliqda adiabatik kengayganda uning entropiyasi o'zgaradimi?
17. Biror sistemada aylanma qaytmas adiabatik protsessni amalga oshirib bo'ladimi?
18. Quyidagi sistemalar Termodinamik muvozanat holatiga yaqinlashganda ular uchun entropiya o'zgarishi qanday bo'ladi: a) yakkalangan sistema; b) yakkalanmagan sistema?
19. Qaytmas protsessda yopiq sistema entropiyasi nima uchun ortadi? Nima uchun bu holda entropiya qaytar protsessni qo'llab hisoblanadi?
20. Gazlar aralashuvida entropiya o'zgarishi statistika nuqtai-nazari bo'yicha qanday izohlanadi?
21. Uy sovutgichi iste'mol qiladigan elektr energiyasi nimaga sarf bo'ladi?

VII. REAL GAZLAR

1. Molekulalarning cheklangan o'lchamlari e'tiborga olib hisoblanganda gazning idish devoriga beradigan bosimining miqdori qanday o'zgaradi? Bu o'zgarish gaz zichligiga bog'liqmi?
2. Molekulalar orasidagi tortishish kuchlarini e'tiborga olib hisoblaganda gazning idish devorlariga beradigan bosimning miqdori qanday o'zgaradi? Bu o'zgarish gaz zichligiga bog'liqmi?
3. Idishdagi gaz molekulalari orasidagi tortishish kuchlari birdan yo'qolib qolsa, gaz bosimi qanday o'zgargan bo'lardi?
4. Real gazning ideal gazdan farqi nimada? Qanday sharoitlarda gaz holati Mendeleev-Klapeyron qonuniga bo'ysunmaydi?
5. Eksperimental ma'lumotlarning katta bosimga ega bo'lgan ideal gaz holati tenglamasi bilan mos kelmasligini va kichik bosimlarda mos kelishini qanday tushuntirish mumkin?
6. Van-der-Vaal's tenglamasi qanday yoziladi: a) bir mol' gaz uchun; b) ixtiyoriy massali gaz uchun?
7. Van-der-Vaal's tenglamasidagi tuzatishlarning fizik ma'nosi qanday? Ular qanday hisoblanadi: a) molekulyar-kinetik nazariyaga ko'ra; b) kritik holat parametrlari bilan?
8. Turli temperaturalar uchun Van-der-Vaal's izotermalari grafikda qanday joylashgan? Van-der-Vaal's izotermasi qanday ko'rinishga ega bo'ladi: a) kritik temperaturalar kichik temperatura uchun; b) kritik temperatura uchun; v) kritik temperaturadan yuqori temperatura uchun?
9. Oddiy sharoitda xona ichidagi havoni ideal gaz deb qarash mumkinmi?

10. Gazlarni, masalan: ammiakni xona temperaturasida suyuq holatga o'tkazish mumkinmi?

VIII. HAVONING NAMLIGI

1. Havoning absolyut namligi deb nimaga aytiladi? Nisbiy namligi deb-chi?
2. Yozda havoning absolyut va nisbiy namligi bir sutka davomida qanday o'zgaradi?
3. Yuvilgan kir nima uchun quruq havoda nam havodagiga nisbatan tezroq quriydi?
4. Hammom issiq bo'lsa ham undagi ko'lmak nima uchun qurimaydiq
5. Agar sovuq havoda nafas chiqarsangiz oq tuman hosil bo'ladi. Nima uchun? Baland uchadigan samolyotlar ortida oq iz qoldiradi. Nima uchun?
6. Nima uchun tunda dalaga qalin shudring tushadiq O'rmonga esa tushmaydi?
7. Nima uchun siyoh siyohdonda qurimaydi, qog'ozda esa tezda quriydi?
8. Havo namligi ortishi bilan atmosfera bosimi qanday o'zgaradi?
9. Nima uchun jazirama issiqqa O'rta Osiyodagiga qaraganda Qora Dengiz bo'ylarida chidash qiyinq
10. Qanday sharoitlarda to'yinmagan bug' to'yingan bug'ga aylanadiq
11. Shudring nuqtasi deb nimaga aytiladi?
12. Nima uchun qishda deraza oynalari muzlaydi (terlaydi)? Nima uchun ko'zoynak oynalari issiq xonaga kirishi bilan terlaydi?
13. Avtobus oynalari qaysi tomonidan terlaydi? Nima uchun?
14. Qaysi bug' to'yingan deyiladi? To'yinmagan deb-chi?
15. 100⁰S temperaturali to'yinmagan bug'ning bosimga bog'lanish grafigini chizing.
16. Tuman qachon hosil bo'ladi?
17. To'yingan bug' va ideal gaz o'rtasidagi farqni tushuntiring.
18. Yumaloq asosli kolbada suv qaynatildi, so'ngra uni olovdan olib og'zini tezda rezina tiqin bilan berkitildi. Agar uni ag'darib sovuq suv quyilsa, kolbadagi suv qaynaydi. Nima uchun?
19. Qanday sharoitlarda absolyut namlik ortsa ham namlik kamayadiq
20. Kun bo'yi ko'chada sovuq kuz yomg'iri tomchilab turdi. Xonada esa yuvilgan kiyim osilgan. Kiyim tezroq qurishi uchun fortochkani ochish shartmiq
21. Quruq havo og'irimi yoki nam havomi? Nima uchun?.

IX. SIRT HODISALARI

1. Sirt tarangligining fizik ma'nosini tushuntiring.
2. Tumanni tashkil etgan suv tomchilarining shakli qanday? Javobingizni asoslang.
3. Nima uchun soqol olishda ishlatiladigan tig' suv sirtida yotishi mumkin?
4. Yarmi suv, yarmi simob bilan to'ldirilgan sferik shisha kolba erkin tushmoqda. Suyuqliklar qanday shaklni oladi?
5. Nima uchun ho'l kulni jun mato bilan artish qiyin-u, ip gazlama bilan artish oson?
6. Qaynoq suv quyilgan idishga kapillyar naycha tushirilgan. Suv sovishi bilan naychadagi suv satxi o'zgaradimi?
7. Oddiy ruchka bilan vaznsizlik holatida yozib bo'ladimi?
8. Yomg'ir yog'ayotgan paytda brezent palatka shiftiga qo'l tekkizilsa, chakka o'ta boshlaydi. Nima uchun?
9. Nima uchun quruq qum yoyilgan holda, ho'l qum esa zich qatlam holda bo'ladi?
10. Agar misni tilga tekkizilsa, yopishib qoladi. Nima uchun?
11. Suvga tuz solindi. Suvning sirt tarangligi qanday o'zgaradi?
12. Nima uchun shisha idishcha ichidagi suvni tomchilar bilan o'lchash mumkin, simobni esa mumkin emas?
13. Suyuqlik sirt tarangligi temperaturaga qanday bog'liqligini tushuntiring?
14. Nima uchun suv jo'mragidan jildirab oqayotgan suv sekin-asta ingichkalashib, oxirida tomchilarga aylanadi?
15. Kapillyar naycha ichidagi suyuqlik satxi naychani qiyshaytirilganda o'zgaradimi?

16. Nima uchun tarangligi bo'sh bo'lgan arqon ho'llangandan keyin tarangligi mustahkamlanadi?
17. Vrachlar, yiringli yaralarni davolashda paxtali tamponlar qo'llaydilar. Uning vazifasi nima?
18. Kapillyardagi suyuqlik ustunining uzunligi kapillyar bilan suyuqlik sirti orasidagi burchakka qanday bog'langan?
19. Suvga qisman botirilgan kapillyar suv bilan to'ldirilgan. Agar uni teng yarmidan sindirilsa, fontan hosil bo'ladimi? Menisk formasi qanday o'zgaradi?
20. Tuproqdagi namlikni ushlab turish uchun uning ustki qatlamini yumshatish kerak. Nima uchun?
21. Ikkita bir xil kapillyardan sovun eritmasi va suv tomchilari tushmoqda. Qaysi suyuqlik tomchilari yirikroq Nima uchun?
22. Nima uchun gubka issiq havoda ham nam turadi va undan suvni siqib olish mumkinmi?
23. Qaynoq suv quyilgan idishga shisha kapillyar naycha tushirilgan. Suv sovishi bilan naychadagi suv sathi o'zgaradimi? Tajribada tekshirib ko'ring.
24. Bir xil meteorologik sharoitda yomg'ir katta shahar ustida tezroq boshlanadimi yoki kichik joyidami?
25. Nima uchun suv tomchisi shisha sirtida yoyiladi, simob tomchisi esa yo'q?
26. Nima uchun suv tomchisi shisha sirtida yoyiladi, parafin ustida esa yo'q?
27. Nima uchun benzindagi suv tomchisi emul'siyasi barqaror emas?
28. O'simlik moyining suvdagi emul'siyasi nima uchun barqaror emas?
29. Nima uchun o'simliklarga suv purkayotganda unga sovun yoki biror sirt-aktiv modda qo'shiladi?
30. Nima sababdan sovun bilan yuvilgan gul yaxshi tozalanishini tushuntiring?
31. Flotatsiya protsessini tushuntiring.

X. FAZAVIY O'TISHLAR

1. Moddaning agregat holati va fazasi deganda nima tushuniladi?
2. Moddaning to'rt fazasi muvozanatda bo'la oladimi?
3. Bug' nima? To'yingan bug'-chi? To'yinmagan bug'-chi?
4. Uchlangan nuqta nima? Kritik nuqta nima?
5. Suyuq fazada kristall fazaga, suyuq fazadan gaz fazaga (yoki aksincha) uzluksiz o'tish kuzatilishi mumkinmi? Bir fazaning ikki fazaga bo'linishi-chi?
6. Fazaviy muvozanat, fazoviy o'tish, fazoviy diagramma (yoki muvozanat) egri chizig'i deb nimaga aytiladi?
7. Suvning fazoviy diagrammasini yozing va tushuntiring.
8. Moddaning agregat holati molekularning o'zaro ta'siri potentsial energiyasiga va molekularning xaotik issiqlik harakati o'rtacha kinetik energiyasiga qanday bog'langan?
9. Modda bir agregat holat chegarasida turli fazalarda bo'la oladimi? Misollarda tushuntiring.
10. Hammomda ba'zi kranlar namlik bilan qoplanganligini, ba'zilari esa quruqligini kuzatish mumkin. Nima uchun shunday?
11. Nima uchun qishda tinch ob-havoli kunda qor yog'ayotgan bo'lsa, sezilarli iliqlik aniqlanadi?
12. Kiyimlarni kuyadan saqlash uchun naftalindan foydalaniladi. Bu yerda naftalinning qaysi xossasidan qo'llaniladi?
13. Xonadon sohibi mevalarni maxsus yerto'lada sovuqdan asrash maqsadida yerto'laga yog'och idishda suv kiritib quydi. U to'g'ri ish qildimi?
14. Qaynagan suvdan kuyish yomonmi yoki bug'danmi?
15. Kuchsiz sovuq shamolsiz havoda, shamolli havodagi kuchsiz sovuqqa qaraganda oson ko'chadi. Buning sababi nimada?
16. Nima uchun fontanlar jazirama issiqni yengadi?
17. Nima uchun tog'ning yuqori qismlarida go'sht yomon pishadi?

18. Nima uchun choyni aralashtirilib turilsa, uni puflab turilsa, uni likopchaga quyilsa, tezroq soviydi?

19. Nima uchun ovqatni oddiy kastyulkadagiga qaraganda «skorovarka»da tezroq pishirish mumkin?

20. Nima uchun rezina kiyimda issiqqa chidash qiyin?

21. Nima uchun suvni soʻruvchi nasos yordamida koʻtarish mumkin boʻlgan eng katta balandligi 15⁰S da 6,75 m, 40⁰S da 5,3 m ga teng?

22. Nima uchun hali qaynamagan suyuqlik tubida hosil boʻlgan pufakchalar yuqoriga koʻtarila borib kichiklashadi va yoʻqoladi?

23. Nima uchun qish paytlarida xizmat xonalari ichidagi namlik odatda 10-15% chegarasida ushlanadi?

24. Nima sababdan yozda hovuz va koʻllardagi suv temperaturasi atrof-muhit temperaturasidan past boʻlsada, suvda issiqroqdek tuyuladi?

25. Nima uchun arqonga osilgan yuvilgan kiyim quriydi, agar u uyum qilib qoʻyilsa qurimaydi?

26. Qachon havoda namlik katta: 0⁰S temperatura ostida qor aralash kuz yomgʻiri yogʻayotgandami yoki nisbiy namligi 35% boʻlgan 35⁰S temperaturali jazirama yoz havosidami?

TALABALAR BILIMINI BAHOLASH MEZONLARI

Kirish nazorati. Bu nazorat turi modulga kirish maqsadida anketa-soʻrovnoma shaklida oʻtkaziladi. Bunda talabalarga fanning kelajakdagi talabalar bilan faoliyatida tutgan oʻrni, ahamiyati, fan mazmuni, fanni oʻqitish usullariga oid soʻrovlar oʻtkaziladi, talabalarning fanni oʻrganish uchun zarur boʻlgan dastlabki bilimlari aniqlanadi, taklif va tavsiyalar olinadi. Ushbu soʻrovlar natijasi chuqur oʻrganilib fanni oʻqitishni tashkil qilish jarayonida zarur oʻzgartirishlar kiritiladi.

Oraliq nazoratlar. Oraliq nazoratlar semestr davomida 2 marta oʻquv mashgʻulotlari davomida oʻtkaziladi va 1-2 va 3-5 modullar boʻyicha talabalarning bajargan ishlari portfolio shaklida jamlanib tahlil qilib baholanadi.

Jami 14 ta amaliy (Q/A, Chart, Link, Review, SWOT, Google Apps, Interview) va va 9 ta laboratoriya mashgʻulotining (LabReport) har boʻyicha oʻzlashtirish natijalari 5 ballik tizimda baholanadi va jami 95 ball toʻplanadi, talabaning darslardagi faolligi va ishtirokiga umumiy 5 ball qoʻyiladi. Umumiy hisobda oraliq nazorat topshiriqlari 100 ballik tizimda baholanadi.

Talabaning oraliq nazorat boʻyicha oʻzlashtirgan ballari quyidagi jadval asosida kredit ballariga va harfli tizimga oʻgiriladi.

Harfli tizimdagi baho	Ballarning raqamli ekvivalenti	Foiz koʻrsatkichi	Anʼanaviy usuldagi baho
A	4,0	95-100	Aʼlo
A-	3,67	90-94	
V+	3,33	85-89	Yaxshi
V	3,0	80-84	
V-	2,67	75-79	
S+	2,33	70-74	
S	2,0	65-69	Qoniqarli
S-	1,67	60-64	
D+	1,33	55-59	Qoniqarsiz
D	1,0	50-54	
F	0	0-49	

19-2018-sonli buyrug'iga ilova qilingan "Oliy ta'lim muassasalarida talabalar bilimni nazorat qilish baholash tizimi to'g'risidagi nizom"ga muvofiq oraliq nazoratda fan bo'yicha A-S darajasiga erishgan talabalar yakuniy nazoratga qo'yiladi.

Yakuniy nazorat (chiqish nazorati).

Yakuniy nazorat taqdimot (yoki hamkorlikdagi taqdimot) shaklida o'tkaziladi. Talabaniy yakuniy nazoratdagi o'zlashtirishi ham xuddi oraliq nazoratdagi kabi 100 ballik tizimda baholanadi va yuqoridagi jadval asosida uning baholash ko'rsatkichi aniqlanadi. Yakuniy nazorat bahosi fan bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichini belgilaydi. Ushbu 5 baholik baholash turlari bo'yicha quyidagicha taqsimlanadi:

Molekular fizika fanidan talabalar bilimni baholash mezonlari

Baho	Talabaniy bilim darajasi
A'lo (5)	Xulosa va qaror qabul qilish; ijodiy fikrlay olish; mustaqil mushohada yurita olish; olgan bilimlarini amalda qo'llay olish; mohiyatini tushunish; bilish, aytib berish; tasavvurga yega bo'lish.
Yaxshi (4)	Mustaqil mushohada yurita olish; olgan bilimlarini amalda qo'llay olish; mohiyatini tushunish; bilish, aytib berish; tasavvurga yega bo'lish.
Qoniqarli (3)	Mohiyatini tushunish; bilish, aytib berish; tasavvurga yega bo'lish.
Qoniqarsiz (0-1-2)	Bilmaslik; aniq tasavvurga ega bo'lmaslik.

Yakuniy nazoratda "Yozma ish"larni baholash mezonlari

Yakuniy nazorat "Yozma ish" shaklida amalga oshirilganda, sinov ko'p variantli usulda o'tkaziladi. Har bir variant 4 ta nazariy savol va 1 ta amaliy topshiriqdan iborat. Nazariy savollar fan bo'yicha tayanch so'z va iboralar asosida tuzilgan bo'lib, fanning barcha mavzularini o'z ichiga qamrab olgan.

Har bir nazariy savolga yozilgan javoblar bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichi 5-2 baholik oralig'ida baholanadi. Amaliy topshiriq esa 5-2 baholik oralig'ida baholanadi.

ASOSIY ADABIYOTLAR

1. U.B.Juraev. Molekulyar fizika. "Voriz" nashriyoti, Toshkent. 2015.
2. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Umumiy fizika kursi. Molekulyar fizika. O'qituvchi, Toshkent. 1978, 507 bet.
3. Sivuxin D.V. Umumiy fizika kursi. Termodinamika va molekulyar fizika. O'qituvchi. Toshkent. 1984. 526 bet.
4. Sivuxin D.V. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Termodinamika va molekulyar fizika. O'qituvchi. Toshkent. 983-228 bet.
5. Volkenshteyn V.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. O'qituvchi. Toshkent. 1969. 464 bet.
6. Chertov A., Vorobev A, Fizikadan masalalar to'plami. O'zbekiston. Toshkent. 1997.496b
7. Nazirov YE.N. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizikadan praktikum. O'zbekiston. Toshkent. 2001.Karabayeva M.A. Molekulyar fizika. Toshkent. Universitet-2014. 298 bet
9. Physics for Scientists and Engineers. Sixth edition. Paul A. Tipler. Gene Mosca 2008.
10. Fundamentals of Physics Halliday & Resnics 10 th edition. Jearl walker. Cleveland State University.
11. Nazirov E.N. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizikadan praktikum. Uzbekiston. Toshkent - 2001 y.
12. Abdullaev R.M., Sattorov X M. «Molekulyarnaya fizika» Obshiy fizicheskiy praktikum. Universitet, T-2004, 102 s

Qo'shimcha adabiyotlar

1. Volkenshteyn B.C. «Sbornik zadach po obshemu kursu fiziki» Sankt-Petepbypr 2004.
2. Otajonov SH. «Molekulyar optika» T . 1994.
3. Matveev A.N. Molekulyarnaya fizika M., Vishnaya shkola. 1987
4. Ahmadjonov O.I. Fizika kursi. Mexanika va molekulyar fizika. Toshkent, O'qituvchi, 1985.
5. Usmonov T., Fizika tarixidan metodik qo'llanma. T 2003
6. Reyf F. Statisticheskaya fizika. M., Nauka 1977, 351 bet. Axmadjonov O. Mexanika va molekulyar fizika. O'qituvchi. T-1985, 287 bet.
7. Kittel` CH. Elementarnaya statisticheskaya fizika. IL 1980.
8. Irodov I.YE. Zadachi po obshey fizike. M., Nauka, 1979, 416 str.
9. Gur`ev L.G., Kortnev A.V i dr. Sbornik zadach po obshemu kursu fiziki. M., Visshaya shkola, 1972, 432 str.
10. Zaydel` I. Elementarnie otsenki oshibok izmereniy. M., 1959.
11. Telesnin R.V. Molekulyarnaya fizika. M., Visshaya shkola, 1965, 298 str.
12. Abdullaev R.M., Xamidjonov I, Karabaeva M.A. «Molekulyar fizika», Universitet, T-2003, 121 bet.
13. Abdullaev R.M., Sattorov X M. «Molekulyarnaya fizika» Obshiy fizicheskiy praktikum. Universitet, T-2004, 102 s
15. Turg'unov T. Amaliy fizika. O'zbekiston. T-2003, 477b. Abdullayev R.M., Sattarov H.M., Tutunmetov K.A. Umumiy fizika kursidan praktikum. Molekulyar fizika. T-2008.

Internet saytlari.

1. www.onlinelibrary.wiley.com
2. www.ziyonet.uz
3. <http://physics.mipt.ru/S II/ Metod TD/>
4. <http://lib.mipt.ru/> Ilmiy jurnallar www.infomag.ru.
5. www.kitob.uz
6. www.sciencedirect.com