

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI  
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

---



K.A.TURSUNMETOV, F.Y.TURGUNBAYEV

# MOLEKULYAR FIZIKA

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIV TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYA VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI  
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

**K.A.TURSUNMETOV, F.Y.TURGUNBAYEV**

# **MOLEKULYAR FIZIKA**

**DARSLIK**

**Toshkent  
"Ma'rifat"  
2025**

UO'K: 539.19(075.8)

KBK: 22.36-923

T 91

Tursunmetov K.A., Turgunbayev F.Y. Molekulyar fizika. Darslik.

-T.: "Ma'rifat", 2025. 276 bet.

Darslik "Molekulyar fizika" faniga bag'ishlangan bo'lib, amalda tasdiqlangan davlat standarti va o'quv dasturlari, hamda O,zMU fizika fakultetining yetakchi professor o'qituvchilarining ko'p yillik tajribalari asosida molekulyar fizika hodisalari, jarayonlari va qonunlari yoritilgan. Darslik 95 mavzudan tashkil topgan bo'lib, 11 ta mavzu mustaqil ta'lim uchun mo'ljallangan. Shuningdek, darslikda har bir bob bo'yicha nazorat savollari hamda mustaqil faoliyat uchun nazariy, amaliy hamda fizika tarixi bo'yicha savollar berilgan. Shu jumladan, darslik oxirida oraliq va yakuniy nazorat uchun savollar hamda 100 ta testlar to'plami berilgan, shuningdek izohli va ma'lumotli lug'atlar to'plami keltirilgan.

UO'K: 539.19(075.8)

KBK: 22.36-923

T 91

#### Taqrizchilar:

Umurzaqov B.Y. – ToshDTU professori, fizika-matematika fanlari doktori

Abdullayev R.M. – O,zMU Fizika fakulteti dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi

O,zMU Ilmiy Kengashining 2024-yil 27-dekabrda 5-sonli qarori bilan nashr etishga tavsiya etilgan.

ISBN: 978-9910-709-08-1

© "Ma'rifat" nashriyoti, Toshkent, 2025 y.

#### MUNDARIJA

§1.	Kirish. Molekulyar fizikaning mazmuni.....	8
<b>I BOB. IDEAL GAZLARNING KINETIK NAZARIYASI</b>		
§2.	Ideal gaz.....	13
§3.	Gaz bosimi.....	13
§4.	Temperatura.....	17
§5.	Ideal gaz holat tenglamasi.....	25
§6.	Ideal gaz qonunlari.....	27
§7.	Gaz molekularining tezliklari.....	32
§8.	Broun harakati.....	34
§9.	Barometrik formula.....	37
§10.	Boltsman qonuni.....	43
§11.	Ehtimollik haqida tushuncha.....	44
§12.	Taqsimot haqida tushuncha. Taqsimot funksiyasi.....	47
§13.	Molekulalarning tezlik komponentalari bo'yicha taqsimoti .....	48
§14.	Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti .....	53
§15.	Molekulalarning o'rtacha tezliklari .....	56
§16.	Molekulalarning eng katta ehtimoliy tezligi .....	59
§17.	Nisbiy tezliklar uchun Maksvell formulasi .....	59
§18.	Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimoti qonuni va planetalar atmosferalari .....	61
§19.	Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish.....	62
§20.	Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn taqsimoti.....	64
<b>II BOB. ISSIQLIKNING KINETIK NAZARIYASI</b>		
§21.	Ideal gazning ichki energiyasi.....	69
§22.	Issiqlik miqdori.....	70
§23.	Issiqlikning mexanik ekvivalenti.....	71
§24.	Termodinamikaning birinchi bosh qonuni.....	71
§25.	Ideal gazning issiqlik sig'imi.....	74
§26.	Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi.....	76
§27.	Gazlarning issiqlik sig'imi va molekularning erkinlik darajasi .....	78
§28.	Ikki atomli va ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'implari .....	78
§29.	Gaz hajmi o'zgarishida uning holatining o'zgarishi va unda .....	83

	bajarilgan ish.....	
§30.	Ideal gaz holatining adiabatik o,zgarishi .....	84
§31.	Adiabatik jarayonda bajarilgan ish .....	86
§32.	Politropik jarayon .....	86
	<b>III BOB. MOLEKULALARNING TO'QNASHISHI VA KO'CHISH HODISALARI</b>	
§33.	Molekulyar harakatlar va ko, chish hodisalalari .....	91
§34.	Vaqt birligidagi o,rtacha to, qnashishlar soni va o,rtacha erkin yugurish yo, ji .....	93
§35.	Molekulyar dastaning gazda sochilishi .....	96
§36.	Gazlarda diffuziya .....	97
§37.	Nostatsionar diffuziya.....	99
§38.	Statsionar diffuziya. Diffuziya koeffitsiyentini hisoblash	102
§39.	Gazlarning issiqlik o,tkazuvchanligi .....	104
§40.	Nostatsionar issiqlik o,tkazuvchanlik .....	105
§41.	Statsionar issiqlik o,tkazuvchanlik. Issiqlik o,tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblash .....	107
§42.	Gazlarning qovushoqligi (ichki ishqalanish) .....	110
§43.	Ko, chish koeffitsiyentlari orasidagi munosabat .....	114
	<b>IV BOB. REAL GAZLAR. VAN-DER-VAALS TENGLAMASI</b>	
§44.	Real gazlar. Gazlarning xossalari ideallikdan chetga chiqishi.....	116
§45.	Gazlarning suyulishi (kondensatsiya) .....	116
§46.	Fazaviy o, tish. Fazaviy diagrammalar .....	118
§47.	Van-der-Vaals tenglamasi .....	120
§48.	Van-der-Vaals izotermalari .....	122
§49.	Kritik temperatura va kritik holat .....	124
§50.	Van-der Vaals tenglamasi konstantalarini eksperimental aniqlash.....	125
§51.	Van-der Vaals tenglamasini tajriba ma"lumotlari bilan taqqoslash.....	126
§52.	Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi. Mos holatlar qonuni.....	127

§53.	Real gazda molekular orasidagi o,zaro ta"sir kuchlari .....	128
§54.	Real gazlarning issiqlik sig, jmi .....	130
	<b>V BOB. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI.</b>	
§55.	Muvozanat holatlar .....	132
§56.	Qaytar va qaytmas jarayonlar .....	133
§57.	Qaytmaslik va ehtimollik .....	134
§58.	Termodinamikaning I bosh qonuni .....	135
§59.	Issiqlikning mexanikaviy ishga aylanishi .....	137
§60.	Karno sikli .....	139
§61.	Erkin energiya .....	142
§62.	Entropiya.....	145
§63.	Berk sistemadagi qaytmas jarayonlarda entropiyaning o,zgarishi Entropiyaning ortib borish qonuni.....	147
§64.	Termodinamikaning asosiy tenglamasi va ba"zi termodinamik munosabatlar.....	150
§65.	Entalpiya.....	152
§66.	Entropiya va ehtimollik .....	152
§67.	Entropiya va tartibsizlik .....	155
§68.	Maksvell demoni .....	156
§69.	Entropiya va uning xossalari .....	157
§70.	Termodinamikaning III bosh qonuni.....	158
§71.	Manfiy temperaturalar.....	159
	<b>VI BOB. SUYUQLIKLARNING XOSSALARI.</b>	
§72.	Suyuqlikni hajmiy hossalari.....	163
§73.	Suyuqlikning issiqlik sig, jmi.....	167
§74.	Suyuqliklarda ko, chish hodisalari.....	167
§75.	Suyuqlik chegarasida bo, ladigan hodisalar .....	170
§76.	Ikki muhit chegarasidagi muvozanat shartlari. Chegaraviy burchak.....	173
§77.	Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi kuchlar .....	175
§78.	Kapilyar hodisalar .....	177
§79.	Sirt taranglik koeffitsiyent o, lchashning ba"zi bir metodlari.....	179
§80.	Sirt taranglik koeffitsiyentini temperaturaga bog, liqligi	184

§81.	Suyuqliklarning bug,lanishi .....	184
§82.	To,yingan bug,lar elastikligini temperaturaga bog,liqligi .....	185
§83.	Suyuqlikning egri sirti ustidagi to,yingan bug,ning elastikligi.....	186
§84.	Suyuqlikning qaynashi.....	188
§85.	Suyuq eritmalar.....	188
§86.	Osmotik bosim.....	192
<b>VII BOB. QATTIQ JISMLAR.</b>		
§87.	Qattiq jismlarning xossalari va xususiyatlari.....	195
§88.	Kristall panjaralar .....	196
§89.	Kristallarda tekislik va yo,nalishlarining belgilanishi.....	198
§90.	Qattiq jismlarning issiqlik xossalari.....	199
§91.	Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi.....	201
§92.	Qattiq jismlarning erishi va sublimatsiyasi.....	203
§93.	Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o,lishlar .....	206
	Oraliq nazorat savollari.....	209
	Test vazifalari.....	214
	Molekulyar fizika fanidan izohli va ma"lumotli lug,atlar.....	237
	Foydalanilgan adabiyotlar ro,yxati.....	273

### Muqaddima

Ushbu darslik "Umumiy fizika" kursining "Molekulyar fizika" faniga bag,ishlangan bo,lib, unda moddalarning xossalari, xususiyatlari hamda asosiy qonun va qoidalari, shuningdek fanga oid muhim ma"lumotlar hamda tarixiy ma"lumotlar keltirilgan.

Zamonaviy texnika va texnologiyaning rivojlanishi, ulardagi jarayonlarning ko,pchiligi molekulyar fizika qonunlari bo,yicha ro,y berishi zamonaviy mutaxassislarda bu bo,limlarni yetarlicha chuqur va kengroq o,rganishni talab qiladi. Shu sababli bu fan bo,yicha asosiy qonunlar, qoidalar va ma"lumotlar sodda, tushunarli qilib yoritilishiga e"tibor qaratildi. Shuning uchun ham, ba"zi bir aspektlar takroran boshqa mavzularda ham yoritildi. Bu esa O,zbekiston Milliy universitetining fizika fakultetida 40-45 yillik tajribadan kelib chiqqan holda nazariy matn yozildi. Shu jumladan, mavzu, qonun yoki qonunlarning ta"riflari, fizik kattaliklarning ma"nolari, fizik kattaliklarning SGSva SI dagi birliklari batafsil berildi.

Har bir bob oxirida nazorat savollari, mustaqil faoliyat uchun nazariy, uslubiy, texnik va tarixiy ma"lumotlar bo,yicha savollar, shuningdek, barcha mavzular bo,yicha qisqartirilgan shakldagi glossarylar – izohli va ma"lumotli lug,atlar to,plami keltirildi. Bu esa talabalarni kelajakda fizik qonun va qoidalarni amaliyotda qo,llash malakasiga hamda turmushda, texnikada, texnologiyadagi fizik muammolarga kreativ qarash ko,nikmasiga ega bo,lishiga zamin yaratadi. Shu jumladan darslik oxirida keltirilgan ma"lumotlar to,plami talabalarning fanni qisqa vaqtda takror o,rganishiga imkon beradi.

Darslik oxiridagi nazariy savollar hamda 100 ta test vazifalari to,plami talabalarni oraliq va yakuniy nazoratga tayyorlanish jarayonini va mustaqil tayyorgarlik darajasini yaxshilaydi. Darslikda bayon qilingan materiallar universitetlar Fizika fakultetlari bakalavriat talabalari uchun o,quv dasturiga mos keladi. Darslik Oliy ta"limning barcha bosqichlari talabalari uchun foydali bo,lib, undan keng foydalanishlari mumkin.

Mualliflar "Molekulyar fizika" fanidan chop etilgan darslikni takomillashtirishga va uning sifatini yaxshilashga qaratilgan taklif, fikr mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladi:

[kamiljantursunmetov@gmail.com](mailto:kamiljantursunmetov@gmail.com)

## §1. Kirish. Molekulyar fizikaning mazmuni



**Aristotel** – (Eramizdan avvalgi 384 – 322) qadimgi yunon faylasufi va olimi. Afinadagi Platon akademiyasida tahsil olgan. U tabiatni va harakatni ikkita juftlik: "Issiq – sovuq" va "Quruq va ho'l" juftlik asosida tushuntirishga harakat qilgan. U tabiatni markazida sharsimon Yer va atrofi konsentrik aylana bo'ylab boshqa planetalar harakat qiladi degan g'oyani ilgari surgan. Tovushga u havoning titrashi deb ta'rif bergan



**Platon** (e.a. IV asr o'rtalarida) – dialogida antik davrdan atom – molekulyar dunyoqarashni ilgari suradi. Barcha narsalar 4 ta: yer, suv, havo va olovdan tashkil topgan, ular ham zarrachadan tashkil topgan degan g'oyani oldinga surib, moddalarning atom yoki molekularidan tashkil topganligi g'oyasining asoschisi bo'ldi. Unda olov zarrachalari eng kichik deb hisoblangan.

Mexanika kursida biz jismlarning harakat qonunlarini o'rgandik. Lekin jismlarning ichki tuzilishi va ichki harakati bilan bog'liq xossalari o'rganish bilan qiziqmadik.

Mexanikada jismlarning o'zaro ta'sirida ularning massasi, o'lchamini va ular orasidagi masofalarni hisobga olgan edik. Ammo jismlarning tuzilishi bilan bog'liq xossalari mexanikada ahamiyatsiz bo'lsa-da, tabiatning boshqa hodisalari shularga bog'liqdir. Jismlarning bu xossalari ularning tuzilishiga, qanday qismlardan tashkil topganiga va ular orasidagi zarra ta'siriga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun moddalarning tuzilishi asosiy masala bo'lib qoladi.

Moddalar juda kichik zarralardan tashkil topganligi g'oyasini Demokrit bashorat qilgan bo'lsa, bu g'oya O'rta Osiyo olimlari Ar-Roziy (865-925), Ibn Sino, Al Beruniylar tomondan fizikviy jarayonlar va hodisalarni tushuntirishda qo'llanilgan, O'rta asrda bu g'oya ko'pchilik olimlar tomonidan bilvosita tajribalarda isbot qilingan. XX asrga kelib, atom va molekularning real mavjudligi uzil-kesil isbotlandi.

Agar jismlar bir butun yaxlit deb olinsa, jismni tashkil qilgan modda uning butun hajmini to'ldirib olgan desak, bu hodisani tushuntirish qiyin bo'ladi.

Agar shu jismlar juda mayda zarrachalardan tashkil topgan desak, yana – bu zarrachalar bir-



**Ptolemy Klavdiy** – (Eramizning II asrida yashagan) – qadimgi yunon olimi, uning asosiy ishlari astronomiyaga bag'ishlangan bo'lib, 1028 ta yulduzdan iborat katalog tuzgan. U olam tuzilishini nazariyasining geotsentrik mualliflaridandir. Fizikada yorug'lik sinishi hodisasini tekshirgan. Geografiyaga oid izlanishlar olib borgan.



**Demokrit Abderskiy** (Eramizdan avvalgi 460 – 370 yillar) – qadimgi yunon mutafakkiri, materialist. Qadimgi atomistikaning bosh vakili. Materiya atomlardan tashkil topadi, ular birlashib, tarqalib tabiatdagi har xil narsalarni hosil qiladi degan g'oyani ilgari surgan. Atomlar mangu, o'zgarmas, ular shakli va kattaligi bilan bir – birdan farq qiladi, butun olam cheksiz dunyolardan tashkil topgan va ular vujudga keladi hamda halok bo'ladi degan fikrda bo'lgan.

biriga nisbatan zich emas, balki ma'lum masofada joylashgan desak, u holda jismlarning o'lchamini temperaturaga bog'liq o'zgarishini shu zarrachalar orasidagi masofaning o'zgarishi bilan tushuntirish mumkin.

Moddaning ana shu zarralari molekula deb ataladi. "Molekula" – lotincha "kichik massa" ma'nosini anglatadi. Moddaning uzlukli, molekulyar tuzilishi qadim zamondayoq paydo bo'lgan. Biroq bu tasavvur uzoq vaqt taxmin bo'lib qolgan edi.

Masalan, har qanday modda issiqlikdan kengayadi, sovuqlikdan torayadi – bu fakt. Har xil moddalar uchun bu effekt turlicha – bu ham fakt.

Bizning davrimizda minglab eksperimentlar yordamida modda tuzilishi haqidagi tasavvurimiz keltirilgan va aniqlangan:

a) molekularlar real mavjud;  
b) molekularlar orasida o'zaro tortish va itarish kuchlari mavjud. Bu faktlar esa jismning uch holati: qattiq → suyuq → gaz holatlarini tushuntirib berishga imkon beradi.

Gaz holatida modda molekularlari butun idishni tezda egallashi – ularning doimo to'xtovsiz harakatda bo'lishini ko'rsatadi. Bu harakat *xaotik harakat* ekan. Molekularlarning bunday harakati *issiqlik harakati* deb ataladi. Moddalar molekularlarining issiqlik harakati uning suyuq va qattiq holatlarida ham mavjud, lekin ularning harakatining xarakteri boshqacharoq bo'ladi.

Shunday qilib, moddalar juda mayda



Abu Ali Ibn Sino (980 – 1037) – O'z ta'limining mashhur olimi. To'la bo'lmagan ma'lumotlarga ko'ra uning hammasi bo'lib, 280 ta asaridan 185 tasi falsafa, qolganlari esa tibbiyot, matematika, fizika, astronomiya, mantiq, davlatni idora qilish usullari, harbiy fan va boshqalarga bag'ishlangan. Havoda va suyuqlikda bo'ladigan hodisalarni zarrachalar harakatiga asosan tushuntirishga harakat qilgan, diffuziya hodisasini tushuntirib, molekulyar fizikani alohida fan qilish g'oyasini ilgari surgan.



Mendeleev Dmitriy Ivanovich (1834 – 1907) – rus olimi. Gazlarning tabiatini o'rganish ustida ham tadqiqotlar olib borib, hozir "Mendeleev-Klapeyron" tenglamasi nomi bilan mashhur bo'lgan universal gaz holat tenglamasini fanga (1874) kiritdi, kiritik temperatura mavjudligini bashorat qildi, tarozilarning fizik nazariyasini yaratdi va aniq tortish usulini kashf qildi. Kimyoviy elementlarning davriy sistemasini kashf etdi. Ko'plab elementlarning atom massalarini aniqlashdirdi, hali kashf qilinmagan elementlar mavjudligini bashorat qildi.

zarrachalar – molekullardan tashkil topib, bu molekullar o'zaro ta'sirda bo'ladi va tartibsiz harakatda bo'ladi.

Moddaning 4-holati plazmada esa molekullar, atomlar, ionlar va elektronlarning tartibsiz harakati bo'ladi. **Molekula nima?** Molekula – moddaning barcha kimyoviy xossalarni o'zida mujassam etgan eng kichik zarrachasidir. Masalan:  $H_2O$ ,  $0,5 H_2O$  mavjud emas.

Molekullar, o'z navbatida, atomlardan tashkil topgan. Hozirgi vaqtda 118 ta - 88 (tabiiy) va 30 sun'iy yo'l bilan hosil qilingan atom turlari mavjud. Ular tabiatda birikib molekullarni hosil qiladi. Tabiatda gazlar inert gazlardan tashqari molekulyar ko'rinishda bo'ladi. Masalan:  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ . Molekullarning atomlarga parchalanish jarayoni – *dissotsiatsiya* deyiladi. Bu hodisa esa yuqori temperaturalarda mumkin va u dissotsiatsiya temperaturasi deyiladi.

Moddalarning miqdori molekulyar fizikada massa va molekulyar (molyar) massa bilan karakterlanadi.

1 mol – moddaning shunday miqdoriki, unda mavjud bo'lgan molekullar soni 12 gr ugleroddagi atomlar soniga teng, ya'ni  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  gr·mol<sup>-1</sup> deb qabul qilingan va Avogadro soni deb yuritiladi.

**Molyar massa** deb, moddaning 1 molini grammlarda (yoki kilogrammlarda) ifodalangan miqdoriga aytiladi. Etalon qilib 1 mol uglerod massasi  $\mu = 12$  gr, ya'ni uning  $\frac{1}{12}$  qismi 1 gr – mol deb qabul qilingan. 1 mol  $O_2$  massasi - 32 gr; 1 mol  $N_2$  massasi - 28 gr ga teng, ya'ni ularning nisbiy molyar massalari shu qiymatlarga teng.

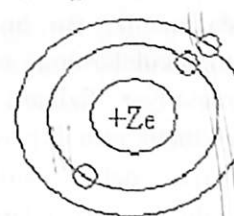


Beruniy Abu Rayhon Beruniy (Abu Rayhon Muhammad ibn Ahmad Beruniy) - (973–1048) – o'zbek xalqining buyuk mutafakkir olimi, ensiklopedist, Sharqda o'zining astronomiya, matematika, fizika, mineralogiya, tarix va adabiyot kabi fanlarga qo'shgan hissasi bilan mashhur bo'lgan olim. 70 dan ortiq asarlar yaratgan. Olamning tuzilishi, diffuziya, fizik kattaliklarni o'lchash va aniqlash, ayniqsa kristallografiya va mineralogiyaga oid tadqiqotlar olib borgan.



Loshmidt Yogan Iozef (1821 – 1895) – avstraliyalik fizik. Normal sharoitlarda gaz hajmi birligidagi molekullar sonini birinchi bo'lib aniqladi (Loshmidt soni). Uning kinetik nazariya, kristallografiya va stereoximiyaga bag'ishlangan ishlari mashhurdir.

Moddaning 1 moli deb, 0,012 kg (12gr) ugleroddagi atomlar soniga teng bo'lgan molekullardan tashkil topgan moddaning miqdoriga aytiladi. Avogadro qonuniga asosan, gaz normal sharoitda bir xil hajmni egallaydi (22,4l) va undagi molekullar soni  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  ta, hajm birligidagi molekullar soni esa  $n_l = 2,7 \cdot 10^{19}$  sm<sup>-3</sup> (Loshmidt soni). Shunga asoslanib, bir molekulaning massasi  $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$  ~  $10^{-23}$  gr yoki ~  $10^{-26}$  kg ekan. Ularning massalari kabi o'lcham-



1-rasm. Litiy atom

lari ham juda kichikdir. Ularning radiusi ~  $10^{-8}$  sm ~  $10^{-10}$  m ~  $\text{Å}$  tartiblarida. Masalan, He atomi (1-rasm) diametri 0.20 nm, kislorod molekulasiniki esa 0.30 nm ga teng.

**Atomlarning tuzilishi.** Atomlar ichidagi zarrachalarning harakatlari kvant mexanikasi qonunlariga bo'ysunadi. Yadro o'lchami ~  $10^{-13}$  cm, atomning o'lchami ~  $10^{-8}$  m.

Yadro Z ta proton va  $N = A - Z$  ta neytrondan tashkil topgan. Izotop nima?

Molekulyar fizika – moddalarning xossa va xususiyatlarini molekulyar-kinetik nazariyaga asoslangan holda hamda

- 1) Statistik metod;
- 2) Termodinamik kattaliklar hamda ular orasidagi bog'lanishlar asosida;
- 3) Termodinamik metodlar asosida o'rganadi.

Jismlarning molekulyar xossalari o'rganishda atomlarning ichidagi harakati bizni qiziqtirmaydi. Bizning vazifamiz—ko'p sonli molekulalardan tashkil topgan sistemalarni o'rganishdir ( $n_v = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ sm}^3$ ).

Bunday molekulyar sistemalarni mexanikadagi metodlar asosida o'rganish, unda  $1 \text{ cm}^3$  gazda  $2,7 \cdot 10^{19}$  molekula bo'lsa, mana shu songa uch marta ko'p tenglamalar sistemasini  $x, y, z$  bo'yicha tuzib, buni echish kerak bo'ladi. Ular orasidagi kuchlar va ularning harakatining bunday tenglamalarini yechish mumkin emas ekan. Demak, molekularning har birining harakatini emas, balki ularning kollektiv harakati bilan bog'liq xarakteristika o'rtachalab (statistika), o'rtacha qiymatlarini o'rganish bilan cheklanish mumkin. Masalan:  $\bar{v}$ ,  $\bar{E}_k$  va hokazo. Molekulyar sistemalarni o'rganishning bu usuli *statistik metoddir*. Moddaning uch holatini o'rganishda shu usuldan foydalanamiz. Bu holatlarning eng soddasi gazsimon holatdir. Chunki molekularning orasidagi kuchlar juda kichikdir. Shuning uchun molekulyar fizikani o'rganishni gazlardan boshlaymiz. Bularni molekulyar-kinetik nazariya asosida o'rganamiz.

*Molekulyar-kinetik nazariya* deb, jismlarning xossalari va xususiyatlarini jismni tashkil qilgan zarrachalarining o'zaro ta'siri va harakati asosida tushuntirib beruvchi nazariyaga aytiladi.

Uning asoslari:

1) Hamma jismlar atom yoki molekulalardan tashkil topgan (isboti: ion mikroskopdagi atomlar tasviri, diffuziya hodisasi).

2) Ular beto'xtov xaotik harakatda bo'lib turadi (isboti: Diffuziya, Broun harakati).

3) Ular orasida o'zaro tortish va itarishish kuchlari mavjud (moddaning 3ta agregat holati).

Issiqlik jarayonlari hamda issiqlikni ishga — mexanik energiyaga aylantirish muamosi termodinamika bo'limida o'rganiladi. Bunda sistemaning holati makroskopik parametrlari:  $P, V, T, M$  lar orqali o'rganiladi. Bu bo'limda termodinamik muvozanat, uning buzilishi, termodinamik muvozanatga o'tishning umumiy qonuniyatlari o'rganiladi.

## I BOB. IDEAL GAZLARNING KINETIK NAZARIYASI

### §2. Ideal gaz

Gazlarning xossalari eng sodda hol — ideal gaz xossalarini o'rganishdan boshlaymiz. Ideal gaz deb,

a) molekularini moddiy nuqta deb hisoblash mumkin bo'lsa, (ya'ni  $d \ll r$ );

b) molekulari orasidagi ta'sir kuchlari nolga teng bo'lsa ( $f_m \approx f_{um} \approx 0$ );

c) molekulari orasidagi to'qnashish — absolyut elastik sharhlarning markaziy to'qnashishi kabi bo'lgan gazlarga aytiladi.

Shu shartlarni birortasi bajarilmasa, u gaz real gaz bo'ladi. Real hollarda bu shart odatda  $\sim 10$  atm bosimgacha hamda molekularning uncha katta bo'lmagan gaz va bug'lar uchun o'rinli. Molekulari nisbatan og'ir bo'lgan, masalan kislot va ishqorlarning bug'lari uchun ideal gaz qonunlari o'rinli bo'lmaydi.

### §3. Gaz bosimi



*Paskal Blez* (1623 – 1662) fransiyalik matematik, fizik va falsafa olimi. Uning fizikaga bag'ishlangan tadqiqotlari asosan gidrostatikaga bag'ishlangan bo'lib, uning asosiy qonunini 1653-yilda bayon qildi (Paskal qonuni). 1642–1644-yillarda sanash mashinasini ixtiro qildi. Gidravlik presning ishlash tamoyilini yaratdi, atmosfera bosimi mavjudligini isbot qildi, atmosfera bosimini balandlikka va havo namligiga bog'liqligini ko'rsatdi. Uning sharafiga bosim birligi — Paskal qabul qilingan

Molekular idish ichida harakat qilar ekan, ular bir-biriga yaqinlashganda, yoki shu molekular idish devoriga yaqinlashganda (juda yaqin), ular orasida o'zaro ta'sir kuchlari paydo bo'ladi va ular o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Buni biz to'qnashish deb ataymiz.

Idish devorining sirti qancha katta bo'lsa, gaz tomonidan devorga ta'sir qiluvchi kuch shuncha katta bo'lishi ravshan. Lekin, gaz molekulari berilgan vaqt

intervalida barcha yoʻnalishlar boʻylab deyarli bir xilda harakat qiladi va sirtini  $1 \text{ m}^2$  ga taʼsir qiluvchi kuchi  $F$  bir xil (Paskal qonuniga asosan). Shuning uchun, biz yuza birligiga taʼsir qiluvchi kuch, yaʼni bosim  $P$  ni  $F$  kuch bilan yuza  $S$  orqali xarakterlaymiz:

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

Gazning idish devorlariga beradigan bosimi, XVIII asrdayoq Daniel Bernulli taxmin qilganidek, gaz molekularining idish devorlari bilan cheksiz toʻqnashuvlar natijasidir. Gaz molekulari idish devorlarini deformatsiyalaydi va devorning elastik deformatsiya kuchlanishi

$\left(\frac{F_d}{S}\right)$  gaz bosimiga teng va qarama-

qarshi yoʻnalgan boʻladi.

Garchi molekularning toʻqnashishidagi oʻzaro taʼsir kuchi nomaʼlum boʻlsa ham, mexanika qonunlaridan foydalanib, molekular birgalikda yuza birligiga taʼsir qilgandagi kuchini, yaʼni gazning bosimini aniqlash mumkin.

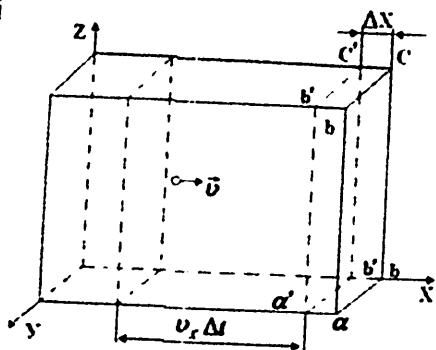
Faraz qilamiz, gaz parallelepiped shakldagi idishga solingan va gaz umuman muvozanatda, yaʼni gaz hisobi sistemamizga (idishga) nisbatan tinch (oqmaydi) (1-rasm).

Biror ixtiyoriy yoʻnalishdagi harakatlargan molekular soni unga qarama-qarshi yoʻnalishdagi molekular soniga teng:

$$N_{-x} = N_x, \quad N_{-y} = N_y, \quad N_{-z} = N_z$$

Gazning  $abcd$  devoriga bosimini hisoblaylik. Bizni  $x$  yoʻnalishidagi  $v_x$ -tezlik komponentasi qiziqtiradi. Gazning tanlangan devorga kelib tutashuvchi  $\Delta x$  qatlamini fikran ajratib olaylik. Bu qatlamga deformatsiyalangan devor tomonidan  $f_x$  kuch taʼsir qiladi.

Absolyut kattaligi xuddi shunday kuch bilan gaz molekulari ham devorga taʼsir qiladi. Nyutonning II qonuniga asosan  $|f_x \cdot \Delta t| = f_x \cdot \Delta t$ . Kuch impulslari teng. Molekularning devorga bergan impulsi



1-rasm

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

Gaz muvozanatda boʻlganda chapdan oʻngga harakat qilayotgan molekular soni, oʻngdan chapga qaytayotgan molekular soniga teng. Ularning sonini  $\Delta t$  vaqt ichida  $v_x \cdot \Delta t$  masofani bosib oʻtgan molekular orqali ifodalaymiz.

Agar  $n = \frac{N}{V}$  molekular konsentratsiyasi boʻlsa, u holda chapdan

oʻngga oʻtuvchi molekular soni  $N_{\text{chapl}} = \frac{1}{2} n \cdot V_{\text{chapl}}$   $N_{\text{oʻngl}} = \frac{1}{2} n \cdot v_x \cdot \Delta t \cdot S$  boʻladi.

Impulsining oʻzgarishi

$$F_x \cdot \Delta t = f_x \cdot \Delta t \cdot N_{\text{chapl}} = nmv_x^2 \cdot S \cdot \Delta t$$

Gaz bosimi

$$P_x = P = \frac{F_x \cdot \Delta t}{S \cdot \Delta t} = nmv_x^2 \quad (3)$$

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

Paskal qonuniga binoan  $P_x = P_y = P_z = P$ .

Gaz bosimi deb, gaz molekularining vaqt birligida, idish devorlarining yuza birligiga bergan kuch impulsiga aytiladi. Lekin molekular  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$  tezlik bilan ixtiyoriy yoʻnalishda harakat qiladi. Biz tezliklarini ularning oʻrtacha qiymati bilan xarakterlaymiz:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad \text{yoki} \quad \bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 \quad (4) \quad \text{va} \quad \bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 \quad (5)$$

desak,  $\bar{v}_x^2 = \frac{\bar{v}^2}{3}$  (6) boʻladi.

Chunki  $P_x = P_y = P_z = P$ , (Paskal qonuniga asosan)  $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$

$$\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 = \bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2.$$

Unda  $P = nm\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} nm\bar{v}^2$ , demak,

$$P = \frac{1}{3} nm\bar{v}^2 \quad (7)$$

Agar  $\frac{m\bar{v}^2}{2} = E_k$  molekularning o'rtacha kinetik energiyasi ekanini

hisobga olsak, u holda  $P = \frac{2}{3}n \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3}n\bar{E}_k$  (8) bo'ladi.

Demak, gazning bosimi hajm birligidagi molekularning o'rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng ekan.

Bu ideal gaz kinetik nazariyasining eng muhim xulosalaridan biridir.

$P = \frac{2}{3}n\bar{E}_k$  bu tenglama *ideal gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi* deb ataladi va gaz bosimi hajm birligidagi barcha molekularning kinetik energiyasining  $\frac{2}{3}$  qismiga teng.

Gazning bosimi – uning molekularining o'rtacha kinetik energiyasi bilan aniqlanishi – uning ko'p sonli molekullardan iboratligini va faqat shunday sistemalar uchun o'rinli ekanligini ko'rsatadi. Bunday tushunchalar statistik xarakterdagi tushunchalar deyiladi.

Bu yerda  $\bar{v}^2$  – tezlik kvadratining o'rtacha qiymati, tezlik o'rtacha qiymati kvadratiga  $\bar{v}^2$  teng emas.

$$\bar{v}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n};$$

$$\bar{v}^2 = \left( \frac{\sum \bar{v}_i}{n} \right)^2;$$

$\bar{v}_{kv} = \sqrt{\bar{v}^2} = \bar{v}$  – o'rtacha kvadratik tezlik deb ataladi.

Bosim birliklari

1. SI:  $1 Pa = 1 \frac{N}{m^2}$

Bu kichik kattalik, shuning uchun amalda  $1 bar = 10^5 Pa$  ishlatiladi.

2. SGS:  $1 \frac{dina}{sm^2} = \frac{10^{-5} N}{10^{-4} m^2} = 0,1 Pa$

Texnikada: a) Texnik atmosfera birligi

$$1at = 1 \frac{kG}{sm^2} = \frac{9,8 N}{10^{-4} m^2} \approx 9,8 \cdot 10^4 Pa \approx 0,98 bar.$$

b) Fizik atmosfera birligi.

$$1atm = 760mm.sim.ust = \rho gh \approx 1,031 \frac{kG}{sm^2} \approx 1,01 \cdot 10^5 Pa \approx 1,01 bar$$

Bu yerda  $\rho_s = 13,5951 \frac{g}{sm^3}$  (simob zichligi)

3. Vakuum texnikasida bosim birligi:

$$1mm.sim.ust = 1Tor = \frac{1}{760} atm \approx 133,3 Pa.$$

Bosimning 1 Tor birligi Torichelli sharafiga qadul qilingan. Zamonaviy qurilmalarda  $10^{-10}$ - $10^{-11}$  Tor bosimli vakuum olinadi va ular ВИ-12, ВИ-14 manometrli vakuummetrlarda o'lchanadi.

#### §4. Temperatura

Ideal gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi:

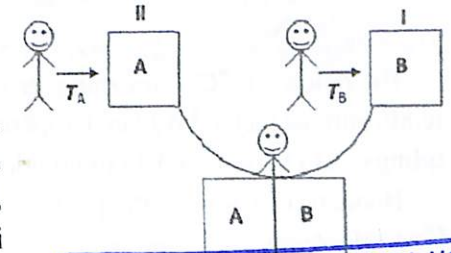
$$P = \frac{2}{3}n \frac{m\bar{v}^2}{2} \quad (9)$$



Torichelli Evanjelista (1608 – 1647) – italiyalik

fizik. U matematika va mexanika bilan shug'ullandi, ancha takomillashgan mikroskopni yasadi va teleskop linzalarini shaffolladi. U Galileyning eng yaqin shogirdi edi. Suyuqlikning idish teshigidan oqib chiqishi haqidagi qonun uning kashfiyoti hisoblanadi. U birinchi bo'lib atmosfera bosimining mavjudligini ko'rsatib, uni o'lchovchi simobli barometrni ixtiro qildi. Vakuum hosil qilishni, shamolning kelib chiqishini

1) A va B jismlardan, biri sovuq, ikkinchisi issiq bo'lsin. Demak, temperatura issiqlik muvozanatini, muvozanatning siljish yo'nalishini ko'rsatadi. Agar A va B odam bilan



DENOV TADBIRKORLIK  
VA PEDAGOGIKA  
INSTITUTI ARM  
№ 34203

Issiqlik muvozanatda bo'lsa, u holda  $A$  va  $B$  jismlar ham o'zaro issiqlik muvozanatda bo'ladi.

Bu tabiatning asosiy qonunlaridan biridir:

2) Agar ikki jism qandaydir uchinchi jism bilan issiqlik muvozanatda bo'lsa, har ikkala jism ham o'zaro issiqlik muvozanatda bo'ladi.

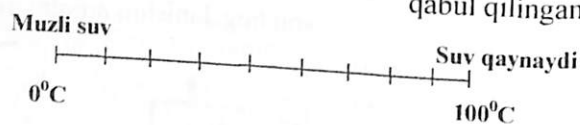
3) Temperatura jismning issiqlik holatini xarakterlaydi va u additiv kattalik emas. Bu degan gap, jismlar to'plamini temperaturasi uning alohida bo'laklarning temperaturalarining yig'indisiga teng emas, ya'ni  $T \neq \sum T_i$  emas.

Shuning uchun ham, temperaturani etalon – termometr yordamida o'lchash mumkin.

1) Termometrni yaratishda termometrik modda tanlanadi. Bu simob, suv, spirt va h.k.



**Anders Selsiy** (1701–1744) shved astronomi, fizik va matematiki bo'lib, Selsiy bo'yicha harorat shkalasini ishlab chiqish bilan mashhur bo'lgan. U 1701-yil 27-noyabrda Shvetsiyaning Upsala shahrida tug'ilgan va Upsala universitetida astronomiya professori bo'lgan.



Bu holda  $1^\circ\text{C}$  - muzning erish temperaturasidan suvning qaynash temperaturasigacha bo'lgan temperatura intervalini  $1/100$  qiymati qabul qilingan. Bu kattalik Selsiy tomonidan kiritilgan.

Bundan tashqari, Farangeyt temperatura shkalasi ham qo'llaniladi. Unda muzning erish temperaturasi  $32^\circ\text{F}$ , suvning qaynash temperaturasi  $212^\circ\text{F}$  qabul qilingan.

Hozirgi zamon termometriyasi (termometr hisobi) gaz termometri yordamida aniqlanadigan ideal gaz shkalasiga asoslangan.

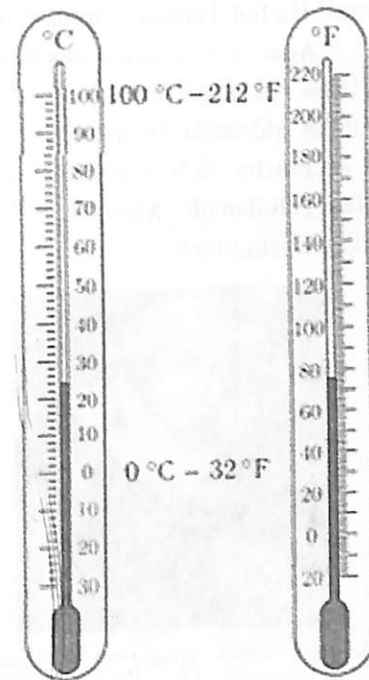
$P \sim T$  va bu bog'lanish chiziqli deb qabul qilinadi, ya'ni bu holda muz eriyotgandagi gaz bosimini  $P_0$ , suv qaynashidagi gaz bosimini  $P_q$  desak, u

holda  $\frac{P_q}{P_0} = \frac{T_q}{T_0}$  nisbat tajribadan 1,3661 ga teng bo'lar ekan. Gradus o'lchami  $T_q - T_0 = 100$  ga bo'lingan. Bu



**Tomson Uillyam (Lord Kelvin)** (1824 – 1907)

ingliz fizigi. Klauzius bilan birga termodinamikani ilmiy sistemaga soldi. Temperaturaning absolyut shkalasini (Kelvin shkalasini) fanga kiritdi. Djoul bilan birga adiabatik kengayishda gazning sovish hodisasini ochdi. Elektr tebranishlari nazariyasini taraqqiy ettirib, tebranuvchi kontur davrini aniqlaydigan ma'lum formulani (Tomson formulasini) berdi. U Tomson o'z ishlarida ferromagnetiklarning elektr o'tkazuvchanligini magnitlanish jarayonida o'zgarishini ko'rsatdi (Tomson effekti). Bunga asosan o'ta sezgir elektroskop va galvanometrlarni yaratdi. U koinotning "Issiqlik o'limi" g'oyasi kabi noto'g'ri g'oyaning avtor edi. Elektromagnetizm taraqqiyotida Tomson ixtirolari muhim rol o'ynagan.



nisbatlardan  $T_0 = 273,15^\circ\text{K}$  va  $T_q = 373,15^\circ\text{K}$  ga tengligi kelib chiqadi.

Biror sistemani temperaturasini o'lchash uchun gaz termometri shu sistemaga kiritiladi va issiqlik muvozanati kutiladi va temperatura  $T = \frac{273,15}{P_0} \cdot P$  (10)

formula bo'yicha aniqlanadi. Bunda  $P_0$  – eriyotgan muzga qo'yilgan gaz termometridagi bosim.

Amalda gaz termometridan kam foydalaniladi. Uning asosiy

vazifasi—gaz termometri bo'yicha barcha ishlatiladigan termometrlarni darajalashdir!

(10) formuladan ko'rinadiki,  $P=0$  da  $T=0$ , lekin amalda  $P=0$  emas! Bu hol Termodinamikaning III qonunida tahlil qilinadi.

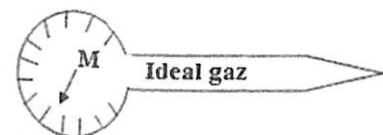
Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolyut temperaturalar shkalasi* deb ataladi. Bunday shkalada hisoblangan temperatura *absolyut temperatura* deyiladi. U ko'pincha *Kelvin shkalasi* deb yuritiladi va  $K$  (eskicha), yangicha  $K$  bilan belgilanadi. Masalan:  $293\text{ K}$  (yoki  $20^{\circ}\text{C}$ ). Turmushda esa Selsiy shkalasi ishlatiladi.



**Amontoni Gilom** (1663–1705) – fransuz fizigi, gigrometri (1687), simobsiz barometri (1695), havo termometrini (1702) ixtiro qilgan. Gaz bosimi bilan zichligi orasidagi bog'lanishni, gaz bosimini temperaturaga chiziqli bog'lanishini aniqladi. Ishqalanishni kiritdi va ishqalanish koeffitsiyenti tushunchasini fanga kiritib, quruq ishqalanish qonunlarini kashf etdi. Termometrni darajaladi, optik pirometri takomillashtirdi.

desak,  $P = n\theta$  (14)

Bunda  $\theta$  energiyaning birliklarida bo'ladi.  $\theta$  xarakteristik temperatura bo'lib, masalan: muzning erish temperaturasi uchun  $5,65 \cdot 10^{-11}\text{ erg}$  bo'lar ekan. Bu juda noqulay! Lekin bu temperatura ma'nosini tushuntirib beruvchi molekulyar-kinetik nazariya vujudga kelgunga qadar temperatura graduslarda o'lchanardi (shartli



4-rasm. Ideal gaz

Biz kelgusida Kelvin shkalasidan foydalanamiz. Temperatura shu tekshirilayotgan sistemada issiqlik muvozanatiga erishilgandan so'ng o'lchanadi.

Ideal gaz uchun temperatura molekular o'rtacha kinetik energiyasining  $2/3$  qismiga teng deb hisoblash qulay, chunki gaz bosimi uchun (8) ko'rinish soddalashadi:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k = n\theta \quad (12)$$

$$\frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = \theta. \quad (13)$$

(xarakteristik temperatura)

ravishda).  $\theta \rightarrow T$  o'tish uchun, qandaydir proporsionallik koeffitsiyenti  $k$  ni kiritamiz:  $\theta = kT$

$$\theta = \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = kT$$

$$\bar{E}_k = \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (15)$$

$$P = n \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = nkT \quad (16)$$

Shuni eslash kerakki,  $\frac{m\bar{v}^2}{2} = \bar{E}_k$  – molekularning ilgarilanma

harakatining o'rtacha kinetik energiyasidir. Bu harakatning tezligi  $\bar{v}^2$  ni uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin ( $v_x, v_y, v_z$ ). Harakatning xaotikligini hisobga olib, ularni  $x, y, z$  yo'nalishlarda teng taqsimlanadi deyish mumkin, ya'ni  $\bar{E}_{k_x} = \bar{E}_{k_y} = \bar{E}_{k_z}$ , bunda har bir yo'nalishga  $(1/2)kT$  energiya to'g'ri keladi. Bog'lanish koeffitsiyenti  $k$ —*Boltsman doimiysi* deyiladi. Uni eksperimental aniqlash mumkin.

Bu kattalik SI da  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ ;

SGS da  $k = 1,38 \cdot 10^{-16}\text{ erg/K}$ .

(14) dan ko'rinib turibdiki  $T=0$  da  $E_k=0$ , ya'ni molekularning harakati to'xtaydi. SI dagi temperatura birligi muzning erishi va suvning qaynashi orasidagi intervaldan foydalanmaydi. Bunda suvning uchlamchi nuqtasidan foydalanamiz. Suv, suv bug'i va muz bu nuqtada muvozanatda bo'ladi. Bu nuqta temperaturasi  $T = 273,16^{\circ}\text{ K}$ .

Shunday qilib,  $1^{\circ}\text{ K}$  temperatura absolyut noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasigacha bo'lgan intervalning  $1/273,16$  qismiga teng.

Suvning uchlamchi nuqtasi  $0,01^{\circ}\text{ C}$  teng bo'lgani uchun,  $1^{\circ}\text{ K} \approx 1^{\circ}\text{ C}$  teng va ular darajasining qiymati deyarli farq qilmaydi.

**Termometr va uning yaratilish tarixi (mustaqil o'rganish uchun mavzu).**

Hozirgi kunda standartlashtirish tizimida fizikaviy o'lchov birliklarini takomillashtirish va qayta ko'rib chiqish bo'yicha, xalqaro birliklar tizimiga asosan ishlash borasida muhokamalar olib borilmoqda. Shuningdek, bu o'lchov birliklari va ularning asosidagi fizikaviy kattaliklarning aniqlashda o'lchov asboblardan foydalaniladi. Turli

vazifasi-gaz termometri bo'yicha barcha ishlatiladigan termometrlarni darajalashdir!

(10) formuladan ko'rinadiki,  $P=0$  da  $T=0$ , lekin amalda  $P=0$  emas! Bu hol Termodinamikaning III qonunida tahlil qilinadi.

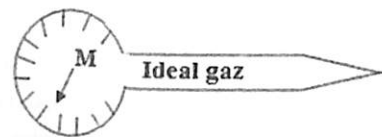
Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolyut temperaturalar shkalasi* deb ataladi. Bunday shkalada hisoblangan temperatura *absolyut temperatura* deyiladi. U ko'pincha *Kelvin shkalasi* deb yuritiladi va  $K$  (eskicha), yangicha  $K$  bilan belgilanadi. Masalan:  $293 K$  (yoki  $20^{\circ}C$ ). Turmushda esa Selsiy shkalasi ishlatiladi.



**Amontoni Gilom** (1663-1705) - fransuz fizigi, gigrometrni (1687), simobsiz barometrni (1695), havo termometrini (1702) ixtiro qilgan. Gaz bosimi bilan zichligi orasidagi bog'lanishni, gaz bosimini temperaturaga chiziqli bog'lanishini aniqladi. Ishqalanishni kiritdi va ishqalanish koeffitsienti tushunchasini fanga kiritib, quruq ishqalanish qonunlarini kashf etdi. Termometrni darajaladi, optik pirometrni takomillashtirdi.

desak,  $P = n\theta$  (14)

Bunda  $\theta$  energiyaning birliklarida bo'ladi.  $\theta$  xarakteristik temperatura bo'ladi, masalan: muzning erish temperaturasi uchun  $5,65 \cdot 10^{-11} \text{ erg}$  bo'ladi ekan. Bu juda noqulay! Lekin bu temperatura ma'nosini tushuntirib beruvchi molekulyar-kinetik nazariya vujudga kelgunga qadar temperatura graduslarda o'lchanardi (shartli



4-rasm. Ideal gaz

Biz kelgusida Kelvin shkalasidan foydalanamiz. Temperatura shu tekshirilayotgan sistemada issiqlik muvozanatiga erishilgandan so'ng o'lchanadi.

Ideal gaz uchun temperatura molekularlar o'rtacha kinetik energiyasining  $2/3$  qismiga teng deb hisoblash qulay, chunki gaz bosimi uchun (8) ko'rinish soddalashadi:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k = n\theta \quad (12)$$

$$\frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = \theta. \quad (13)$$

(xarakteristik temperatura)

ravishda).  $\theta \rightarrow T$  o'tish uchun, qandaydir proporsionallik koeffitsiyenti  $k$  ni kiritamiz:  $\theta = kT$

$$\theta = \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = kT$$

$$\bar{E}_k = \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (15)$$

$$P = n \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = nkT \quad (16)$$

Shuni eslash kerakki,  $\frac{m\bar{v}^2}{2} = \bar{E}_k$  - molekularning ilgarilanma

harakatining o'rtacha kinetik energiyasidir. Bu harakatning tezligi  $\bar{v}^2$  ni uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin ( $v_x, v_y, v_z$ ). Harakatning xaotikligini hisobga olib, ularni  $x, y, z$  yo'nalishlarda teng taqsimlanadi deyish mumkin, ya'ni  $\bar{E}_{k_x} = \bar{E}_{k_y} = \bar{E}_{k_z}$ , bunda har bir yo'nalishga  $(1/2)kT$  energiya to'g'ri keladi. Bog'lanish koeffitsiyenti  $k$  - *Boltsman doimiysi* deyiladi. Uni eksperimental aniqlash mumkin.

Bu kattalik SI da  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ;

SGS da  $k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ erg/K}$ .

(14) dan ko'rinib turibdiki  $T=0$  da  $E_k=0$ , ya'ni molekularning harakati to'xtaydi. SI dagi temperatura birligi muzning erishi va suvning qaynashi orasidagi intervaldan foydalanmaydi. Bunda suvning uchlamchi nuqtasidan foydalanamiz. Suv, suv bug'i va muz bu nuqtada muvozanatda bo'ladi. Bu nuqta temperaturasi  $T = 273,16^{\circ} K$ .

Shunday qilib,  $1^{\circ} K$  temperatura absolyut noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasigacha bo'lgan intervalning  $1/273,16$  qismiga teng.

Suvning uchlamchi nuqtasi  $0,01^{\circ} C$  teng bo'lgani uchun,  $1^{\circ} K \approx 1^{\circ} C$  teng va ular darajasining qiymati deyarli farq qilmaydi.

**Termometr va uning yaratilish tarixi (mustaqil o'rganish uchun mavzu).**

Hozirgi kunda standartlashtirish tizimida fizikaviy o'lchov birliklarini takomillashtirish va qayta ko'rib chiqish bo'yicha, xalqaro birliklar tizimiga asosan ishlash borasida muhokamalar olib borilmoqda. Shuningdek, bu o'lchov birliklari va ularning asosidagi fizikaviy kattaliklarning aniqlashda o'lchov asboblardan foydalaniladi. Turli

vazifasi—gaz termometri bo'yicha barcha ishlatiladigan termometrlarni darajalashdir!

(10) formuladan ko'rinadiki,  $P=0$  da  $T=0$ , lekin amalda  $P=0$  emas! Bu hol Termodinamikaning III qonunida tahlil qilinadi.

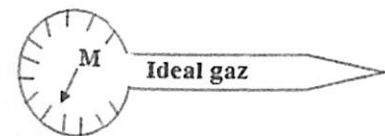
Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolyut temperaturalar shkalasi* deb ataladi. Bunday shkalada hisoblangan temperatura *absolyut temperatura* deyiladi. U ko'pincha *Kelvin shkalasi* deb yuritiladi va  $K$  (eskicha), yangicha  $K$  bilan belgilanadi. Masalan:  $293\text{ K}$  (yoki  $20^{\circ}\text{C}$ ). Turmushda esa Selsiy shkalasi ishlatiladi.



**Amonton Gilom** (1663–1705) – fransuz fizigi, gigrometri (1687), simobsiz barometrni (1695), havo termometrini (1702) ixtiro qilgan. Gaz bosimi bilan zichligi orasidagi bog'lanishni, gaz bosimini temperaturaga chiziqli bog'lanishini aniqladi. Ishqalanishni kiritdi va ishqalanish koeffitsienti tushunchasini fanga kiritib, quruq ishqalanish qonunlarini kashf etdi. Termometrni darajaladi, optik pirometri takomillashtirdi.

desak,  $P = n\theta$  (14)

Bunda  $\theta$  energiyaning birliklarida bo'ladi.  $\theta$  xarakteristik temperatura bo'lib, masalan: muzning erish temperaturasi uchun  $5,65 \cdot 10^{-11}\text{ erg}$  bo'lar ekan. Bu juda noqulay! Lekin bu temperatura ma'nosini tushuntirib beruvchi molekulyar-kinetik nazariya vujudga kelgunga qadar temperatura graduslarda o'lchanardi (shartli



4-rasm. Ideal gaz

Biz kelgusida Kelvin shkalasidan foydalanamiz. Temperatura shu tekshirila-yotgan sistemada issiqlik muvozanatiga erishilgandan so'ng o'lchanadi.

Ideal gaz uchun temperatura molekular o'rtacha kinetik energiyasining  $2/3$  qismiga teng deb hisoblash qulay, chunki gaz bosimi uchun (8) ko'rinish soddalashadi:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k = n\theta \quad (12)$$

$$\frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = \theta. \quad (13)$$

(xarakteristik temperatura)

ravishda).  $\theta \rightarrow T$  o'tish uchun, qandaydir proporsionallik koeffitsiyenti  $k$  ni kiritamiz:  $\theta = kT$

$$\theta = \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = kT$$

$$\bar{E}_k = \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (15)$$

$$P = n \frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} = nkT \quad (16)$$

Shuni eslash kerakki,  $\frac{m\bar{v}^2}{2} = \bar{E}_k$  – molekularning ilgari noma

harakatining o'rtacha kinetik energiyasidir. Bu harakatning tezligi  $\bar{v}^2$  ni uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin ( $v_x, v_y, v_z$ ). Harakatning xaotikligini hisobga olib, ularni  $x, y, z$  yo'nalishlarda teng taqsimlanadi deyish mumkin, ya'ni  $\bar{E}_{k_x} = \bar{E}_{k_y} = \bar{E}_{k_z}$ , bunda har bir yo'nalishga  $(1/2)kT$  energiya to'g'ri keladi. Bog'lanish koeffitsiyenti  $k$ —*Boltsman doimiysi* deyiladi. Uni eksperimental aniqlash mumkin.

Bu kattalik SI da  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ ;

SGS da  $k = 1,38 \cdot 10^{-16}\text{ erg/K}$ .

(14) dan ko'rinib turibdiki  $T=0$  da  $E_k=0$ , ya'ni molekularning harakati to'xtaydi. SI dagi temperatura birligi muzning erishi va suvning qaynashi orasidagi intervaldan foydalanmaydi. Bunda suvning uchlamchi nuqtasidan foydalanamiz. Suv, suv bug'i va muz bu nuqtada muvozanatda bo'ladi. Bu nuqta temperaturasi  $T = 273,16^{\circ}\text{ K}$ .

Shunday qilib,  $1^{\circ}\text{K}$  temperatura absolyut noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasigacha bo'lgan intervalning  $1/273,16$  qismiga teng.

Suvning uchlamchi nuqtasi  $0,01^{\circ}\text{C}$  teng bo'lgani uchun,  $1^{\circ}\text{K} \approx 1^{\circ}\text{C}$  teng va ular darajasining qiymati deyarli farq qilmaydi.

**Termometr va uning yaratilish tarixi (mustaqil o'rganish uchun mavzu).**

Hozirgi kunda standartlashtirish tizimida fizikaviy o'lchov birliklarini takomillashtirish va qayta ko'rib chiqish bo'yicha, xalqaro birliklar tizimiga asosan ishlash borasida muhokamalar olib borilmoqda. Shuningdek, bu o'lchov birliklari va ularning asosidagi fizikaviy kattaliklarning aniqlashda o'lchov asboblardan foydalaniladi. Turli

o,ichov asboblardan foydalanishda ularning o,ichash aniqligi va ishlash mexanizmini bilish muhim hisoblanadi. Bu borada temperaturani aniqlashda termometrlardan foydalanish o,irinli hisoblanadi.

Termometr – temperaturani o,ichash asbobi hisoblanadi. U asosan qattiq, suyuq, gazsimon moddalarning temperaturasi uchun amalda qo,llaniladi. Termometrlarning qo,llanilishi jism biror xossasining (masalan, hajmi, elektr qarshiligi va boshqa kattaliklar) temperaturasi bog,liqligiga asoslangan. Temperaturani o,ichash usuliga ko,ra, barcha termometrlar ikki guruhga bo,linadi: kontaktli (bevosita muhit bilan kontaktda bo,ladigan) va kontaktsiz (muhit bilan kontaktda bo,lmaydigan). Birinchi guruhga kengayish termometrlari, manometrik termometrlar, termoelektrik termometrlar va qarshilik termometrlari kiradi. Ikkinchi guruhga esa turli turdagi pirometrlar kiradi. Pirometr – noshaffof jismlar temperaturasi uchun ishlatiladigan optik asbob hisoblanadi. Ishlash prinsipi noshaffof jismlar spektrning optik diapozonida nurlanishi xossasiga asoslangan. Termometrni yaratgan insonni bugungi aynan o,sha inson deb aytish qiyin. Termometr ixtirochilari degan nom Galiley, Santorio, Lord Bacon, Robert Fludd, Scarpi, Kornelius Drebbel, Porte va Salomon de Caus kabi bir qancha olimlarga bir vaqtning o,zida berilgan. Bu ko,plab olimlar bir vaqtning o,zida havo, tuproq, suv va odamning haroratini o,ichashga yordam beradigan qurilmani yaratishda ish olib borishi bilan bog,liq.

29-mart 1561-yil italyan shifokori Santorio tug,ildi – birinchi simob termometrining kashfiyotchilaridan biri bo,lib, nafaqat shifokor, balki anatomist va fiziolog ham edi. U nafas olish jarayonini faol o,rgangan, teri yuzasidan "ko,rinmas bug,lanish", inson metabolizmi sohasida tadqiqotlar olib borgan. Santorio o,z ustida tajribalar o,tkazdi va inson tanasining xususiyatlarini o,rganib, arteriyalarning pulsatsiyaliligini o,ichash asbobini, inson massasi o,zgarishlarini kuzatish uchun o,ichov asboblari va birinchi simob termometrini yaratdi.

**TEMPERATURA NIMA?** Temperatura – jismning qiziganlik darajasi hisoblanib, molekulalarning issiqlik harakatidan aniqlanadigan ichki kinetik energiya miqdoridir. Temperaturani o,ichash imkoni issiqlik almashishiga, issiq jismning issiqligini o,zidan kam bo,lgan moddaga o,tish qobiliyatiga asoslangan. O,ichanayotgan temperaturalarning son

qiymatini topish uchun temperaturalar shkalasini o,rnatish, ya'ni sanoq boshini va temperatura intervalining o,ichov birligini tanlash lozim. Agar temperatura "gradus" bilan o,ichansa, uning o,ichov birligi quyidagi formula bo,yicha aniqlanadi:

$$1 \text{ gradus} = \frac{t_2 - t_1}{n}$$

bu yerda:  $t_1$  – jismning boshlang,ich chegara nuqtasidagi temperaturasi;  $t_2$  – shu jismning ikkinchi holatga o,tish nuqtasidagi temperaturasi;  $n$  – butun son (shkala bo,limlari soni).

Hozirgi vaqtda bir necha xil o,ichov shkalalari mavjud. Jumladan;

1. Xalqaro amaliy temperaturalar shkalasi (Selsiy shkalasi).
2. Termodinamik shkala (Kelvin shkalasi).

Xalqaro amaliy temperaturalar shkalasida temperaturaning o,ichov birligini topish uchun suvning uch holati – muzlash va qaynash nuqtalari orasidagi temperaturalar farqi miqdori 100 bo,lakka bo,linadi. Agar suvning muzlash nuqtasi  $t_1=0$ , qaynash nuqtasi  $t_2=100$  va  $n=100$  deb qabul qilinsa, temperaturaning selsiy shkalasidagi o,ichov birligi

$$\frac{t_2 - t_1}{n} = \frac{100^\circ - 0^\circ}{100} = 1^\circ C$$

bo,jadi.

Termodinamik shkala esa, absolyut temperaturalar shkalasini joriy etgan ingliz olimi Kelvin nomi bilan yuritiladi. Absolyut temperatura Gey-Lyussak qonuni

$$V = V_0(1 + at^0)$$

ga muvofiq temperaturaning boshlang,ich nuqtasi absolyut nol temperaturaning bo,lishiga asoslanadi. Yuqoridagi ifoda ideal gaz hajmi  $V$  ning o,zgarishi  $P=\text{const}$  bo,lganda temperaturaning o,zgarishiga bog,liqligini ko,rsatadi, bu yerda:  $V_0$  – selsiy shkala si bo,yicha temperatura nol bo,lgandagi gaz hajmi;

$a = \frac{1}{-273.16}$  – hamma gazlar uchun bir xil bo,lgan hajmiy kengayishning termik koeffitsiyenti.

Absolyut nol temperaturada ( $T_0$  da) gaz hajmi  $V=0$  deb faraz qilinsa,

$$0 = V_0(1 + T_0)$$

bo,lib, absolyut temperaturaning qiymati  $T_0 = -273,16$  bo,jadi.

Absolyut nol temperaturani amalda o'lchash mumkin emas, chunki temperatura pasaygan sari gaz hajmi nolga yaqinlashmay, balki suyuqlikka aylanadi.

Amalda temperaturani o'lchash uchun xalqaro amaliy shkalalar – Selsiy va Kelvin qo'llaniladi. Bu shkalalar Selsiy shkalasi asosida tuzilgan. Ularning o'lchov birligi amaliy shkalalar – selsiy (t), hamda kelvin (T).

Xalqaro amaliy shkala bo'yicha temperatura kelvinda o'lchansa, uning qiymati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$T = t^0 + 273,16$$

Xalqaro birliklar sistemasida temperaturaning o'lchov birligi sifatida kelvin (K), suvning muz, suv, bug., fazalari muvozanati holati holatida bo'ladigan nuqtasi deb ataladigan termodinamik temperaturasi 273,16 ga teng deb qabul qilingan. Shu bilan bir qatorda B S da temperaturaning a lqaro amaliy temperatura shkalasi – selsiy shkalasida ( C) ham o'lchash tavsiya qilinadi. Bu shkala jismlarning o'zgarish holatlaridan oltitasini mavjudligiga asoslangan:

1. Kislородning qaynash nuqtasi: - 182,97 C.
2. Suvning bir vaqtda uch holatda (muz, suv, bug.,) bo'lish nuqtasi: 0,01°C.
3. Suvning qaynash nuqtasi: 100 C.
4. Oltinugurtning qaynash nuqtasi: +1444,6 C.
5. Kumushning qotish nuqtasi: 961,93 C.
6. Oltinning qotish nuqtasi: 1064,43 C.

Bu shartli nuqtalarga asoslanib, etalon o'lchov asboblarining shkalasi darajalanadi.

Termometr turlari. Temperaturani o'lchash usuliga ko'ra barcha termometrlar ikki guruhga bo'linadi: kontaktli (bevosita muhit bilan kontaktda bo'ladigan) va kontaktsiz (muhit bilan kontaktda bo'lmaydigan). Birinchi guruhga kengayish termometrlari, manometrik termometrlar, termoelektrik termometrlar va qarshilik termometrlari kiradi. Ikkinchi guruhga esa turli turdagi pirometrlar kiradi.

**Pirometr** – noshaffof jismlar temperaturasini o'lchash uchun ishlatiladigan optik asbob nomi. Ishlash prinsipi noshaffof jismlarning spektrning optik diapozonida nurlanishi xossasiga asoslangan.

Kengayish termometrlari temperaturani o'lchash vositalari hisoblanib, ularning ishlash usuli moddalarning hajmiy va chiziqli

kengayishi, termometr tushirilgan muhit temperaturasining o'zgarishiga asoslangan. Kengayish termometrlari ham o'z navbatida ikki turga bo'linadi: suyuqlikli va mexanik.

### Suyuqlikli kengayish termometrlari

Suyuqlikli kengayish termometrlari yordamida temperaturani o'lchash termometrga joylashtirilgan suyuqlikning issiqlik ta'sirida turlicha kengayish koeffitsiyentiga asoslangan.

Termometrning suyuqlik to'ldirilgan qismi issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti kichik bo'lgan maxsus shisha sirtlaridan tayyorlanadi. Suyuqlikli kengayish termometrlarining temperaturani o'lchash chegarasi - 200 C dan 750 C gacha.

Suyuqlikli termometrlarda o'lchash chegarasiga qarab termometrik modda sifatida quyidagi suyuqliklar qo'llaniladi: Pentan (-200... 20 C), petroleyli efir (-120... 25 C), etil spirti (-80... 70 C), toluol (-90... 200 C), kerosin (60... 300 C) va simob (-35... 750 C).

Shu o'rinda, har bir termometrning foydalanish xususiyatidan kelib chiqib, ular turlarga ajratiladi. Ularni foydalanish darajasi va qo'llanilish sohalariga qarab ularning imkoniyatlarini o'rganish mumkin. Xulosa o'rinda shuni aytish mumkinki, o'lchov vositalaridan foydalanishda ularning imkoniyatlaridan kelib chiqib, foydalanish maqsadga muvofiq.



**Klayperon Benua Pol Emil** (1799 – 1864) – fransuz fizigi. Ideal gazlarning holat tenglamasini fanga kiritdi. S.Karنونing termodinamikaga bag'ishlangan g'oyalarning asosiy mohiyatini ochib berdi (1835). Karno ishlarini tahlil qilishda termodinamika protsesslarini birinchi bo'lib grafik usulda tasvirladi. Moddalarnin qaynash va erish temperaturalarining bosimga bog'liqligini ifodalaydigan tenglama Klayperon – Klazius tenglamasini yaratdi.

### §5. Ideal gazning holat tenglamasi

Ilgari surilgan molekulyar-kinetik naza riyada gaz bosimi va uning temperaturasi orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan edi, ya'ni

$$P = nkT \quad (1)$$

Gaz holati, faqat  $P, T$  bilangina emas, balki u egallagan hajm  $V$  bilan ham xarakterlanadi. Bu kattaliklar  $P, V, T$  - holat parametrlari deyiladi.

Shu kattaliklar mustaqil kattaliklar bo'lsan, bir-biriga chambarchas bog'liq va ixtiyoriy bittasi qolgan ikki parametrlarning funksiyasi bo'ladi. Shu gazning uchta parametrini bog'lovchi tenglama *holat tenglamasi* deb ataladi. Uni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$P = f(V, T)$$

Agar gazning holat tenglamasi va ikkita parametri ham ma'lum bo'lsa, u holda uchinchi parametrni ham aniqlash mumkin. Gazlar uchun turli jarayonlarni holat tenglamasini grafik tasviridan foydalanish qulay. Masalan:  $T = T_1 = T_2 = T_3$  bo'lsa, jarayon izotermik bo'ladi.  $P = f(V)$  bog'lanish 5-rasmdagidek bo'ladi (37-bet). Mana shu chiziqlar *izotermalar* deyiladi. Buni eksperimentda hosil qilishimiz mumkin. Mana shu tipdagi grafiklardan kelgusida keng foydalanamiz.

Ideal gazning holat tenglamasini molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini (1) dan foydalanib hosil qilamiz.

Gaz konsentratsiyasi

$$n = \frac{N}{V} \quad (2) \quad (2) \rightarrow (1) \quad PV = NkT \quad (3)$$

Bu yerda  $N$  noaniq va juda katta son. Shuning uchun, gaz miqdorini gazning massasi  $M$  orqali ifodalaymiz. Buning uchun  $\nu$ -mol tushunchasini eslaymiz.

Moddaning nisbiy molekulyar massasiga teng bo'lgan grammlarda ifodalangan massa miqdoriga *mol* deb ataladi.

Agar gazning molyar massasi  $\mu$  bo'lsa, unda  $\mu = m_0 \cdot N_A$  (4).

Avogadro soni  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \text{const}$  bo'lib, har qanday gaz uchun o'rinlidir. Gaz molekulasining soni  $N = \frac{M}{m_0} = \frac{M}{\mu} \cdot N_A$  (5).

$$\left. \begin{array}{l} M \text{ da} \dots N \text{ ta} \\ \mu \text{ da} \dots N_A \text{ ta} \end{array} \right\} \text{ -- proporsiyadan; } N = \frac{M \cdot N_A}{\mu} \text{ yoki } N = \nu \cdot N_A \quad (6) \quad \text{ni}$$

hosil qilishimiz mumkin.

Bu yerda  $\nu = \frac{M}{\mu} = \frac{M}{N_A}$  mollar soni (modda miqdori) deyiladi va gaz

miqdori necha mol gazdan iborat ekanligini ko'rsatadi. (5)  $\rightarrow$  (3)

$$PV = \frac{M}{\mu} N_A \cdot k \cdot T \quad \text{hosil bo'ladi.}$$

Bu yerda  $N_A$  hamda  $k = \text{const}$  o'zgarmas kattaliklardir.

Shuning uchun  $k \cdot N_A = R = \text{const}$  (7) - universal gaz doimiysi deb yuritiladi va hamma vaqt bir mol gazni xarakterlaydi:

$$R = N_A \cdot k \approx 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$(7) \rightarrow (6) \text{ dan } PV = \frac{M}{\mu} RT \quad (8)$$

Bu tenglama Mendeleev - Klapeyron tenglamasi deb ataladi. 1 mol gaz uchun, ya'ni  $\frac{M}{\mu} = 1$  yoki  $M = \mu$  uchun

$$PV = RT \quad (9) \text{ (Klapeyron tenglamasi).}$$

## §6. Ideal gaz qonunlari



**Boyl Robert** (1627 - 1691) - mashhur ingliz olimi. U gazlar elastikligi ustida ishlab, 1662 yilda ideal gazlar qonunini ochdi, bu qonun 1676 yilda fransuz fizigi Mariott (1620 - 1684) tomonidan yangidan topilganligi uchun fizikada u "Boyl - Mariott qonuni" deyiladi. U jismlarning elektrlanish hodisasi, xemilyuminestsentsiya u havoning solishtirma og'irligini aniqlashtirish masalalari bilan ham shug'ullangan.

Gaz tabiatini boshqaruvchi qonunlar ilgaridan ma'lum edi. Masalan, Boyl-Mariott qonuni V II asrdayoq ma'lum edi

1. **Boyl-Mariott qonuni.**

Bu holda  $T = \text{const}$ , ya'ni izotermik jarayonda  $PV = \frac{M}{\mu} RT$ .

$\frac{M}{\mu} RT = \text{const}$  bo'ladi. Shuning uchun  $PV = \text{const}$  (1).

(1) tenglama-izoterma tenglamasi, bog'lanishni

ifodalaydigan egri chiziqlar *izotermalar* deb ataladi.

## 2. Ideal gazning siqiluvchanlik koeffitsiyenti

Jismning, moddaning hajmi o'zgarishi bilan bosimni o'zgartirish xossasi siqiluvchanligi deyiladi.

Agar  $T = const$  bo'lsa, u holda siqiluvchanlik hajmning bosimni bir birlikka o'zgarandagi nisbiy o'zgarishiga izotermik siqiluvchanlik koeffitsiyenti deyiladi:

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dV}{dP} \right)_T \quad (2)$$

$$T = const \quad PV = const$$

Agar  $dP = 1$  birlikka teng bo'lsa  $\frac{dV}{V} = \chi$ .

Ideal gaz uchun  $d(PV) = VdP + dV \cdot P = 0$ .

$$\left( \frac{M}{\mu} RT = const \right) \text{ Bu tenglamadan } \frac{dV}{dP} = -\frac{V}{P}$$

$$\text{Bundan } \chi = \frac{1}{V} \cdot \left( -\frac{V}{P} \right) = -\frac{1}{P}$$

$$\chi = -\frac{1}{P} \quad (3)$$

Minus ishorasi hajmning ortishi bosimni kamayishiga olib kelishini ko'rsatadi.



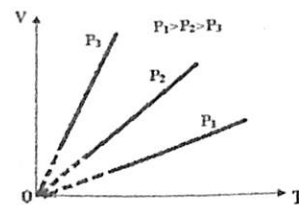
**Mariotte Edm** (1620 - 1684) - fransuz fizigi. Ilmiy ishlari gaz, suyuqliklar mexanikasiga, issiqlik, optika masalalariga bag'ishlangan. 1676-yilda berilgan temperaturada hajmining bosimga ko'paytmasi o'zgarishsizligi qonuni (Boyl - Mariotte qonuni) ni aniqladi (Bu qonunni 1662 yilda ingliz olimi Boyle ham aniqlagan edi). Torichelli tenglamasini amalda aniqlab, favvoralarda oqim balandligini hisoblash usulini kiritdi. To'qnashish va tebranma harakat jarayonlarini o'rgandi, kamalak hosil bo'lishi, difraksiya hodisasini va nur energiyasini o'rgandi.

$$[\chi] = \left[ \frac{1}{P} \right]; \text{ Birliklari: SI da}$$

$$\chi = \frac{m^2}{N}$$

$$\text{SGS da } \frac{sm^2}{dina}$$

## 3. Gey-Lyussak qonuni



6 - rasm.

Ideal gaz bosimi  $P = const$



**Gey-Lyussak Jozef Lui** (1778 - 1850) - fransuz fizigi va kimyogari. Peterburg Fanlar akademiyasining faxriy a'zosi (1829). Gazlarning kengayishi va xossalari tekshirib, o'zining mashhur qonunini 1800-yilda ochdi. Gigrometr, spirtometr, barometr, termometr, nasosga o'xshash bir qancha asboblarni ixtiro etdi.



**Sharl Jak Aleksandr Sezar** (1746-1823) - fransuz fizigi. Gazlar kengayishini tekshirar ekan, o'zgarishsiz massali ideal gazning berilgan hajmda temperatura o'zgarishi bilan bosimining o'zgarish qonunini (Sharl qonuni) aniqladi. Uning bu qonuni aerostat yasashda qo'llanilib, o'zi ilk bor parvoz qilgan. Gerneksnig havo nasosini takomillashtirib, havoning siyraklashgan darajasini o'lchadi. Suvning xona temperaturasida ham qaynashini ko'rsatdi. Kimyoga kimyoviy element tushunchasini eksperiment metodini kiritib kimyo faniga asos soldi.

bo'lsa, unda

$$PV = \frac{M}{\mu} RT \text{ dan } \frac{V}{T} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{P} = const.$$

$$\frac{V}{T} = const \quad (4)$$

$$V = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \alpha T$$

Bu izobarik jarayon deb ataladi va  $V \sim T$ ,  $V = cT$  dir.  $V = V(T)$  grafik koordinata boshidan boshlanadi.

## 2. Gazning o'zgarish bosimda hajmiy kengayish koeffitsiyenti:

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dV}{dT} \right)_P \quad (5)$$

$$PV = \frac{M}{\mu} RT \cdot \left( \frac{dV}{dT} \right)_P = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{P}$$

teng.

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dV}{dT} \right)_P = \frac{1}{V} \cdot \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{P} = \frac{1}{T} \quad (5')$$

Ideal gazning hajmiy kengayish koeffitsiyenti absolyut temperaturaning teskari kattaligiga teng ekan.

$0^\circ C$  da  $\alpha = \frac{1}{273} K^{-1}$  ekan.

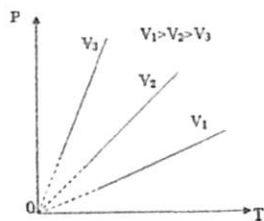
(5') dan  $dV = V_0 \alpha \cdot dT$  bundan  $\int_0^V dV = \alpha V_0 \int_0^T dT$  va  $V = V_0 \alpha T$  yoki  $V = V_0(1 + \alpha t)$ . Bu erda  $t$  Selsi shkalasida olingan temperatura.

**5. Izoxorik jarayon ( $V = const$ ).** Gaz hajmi o'zgarishsiz bo'lganda,

$$\frac{P}{T} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{V} = \text{const.}$$

$$P = P_0(1 + \beta t) = P_0 \beta T$$

$$\frac{P}{T} = \text{const yoki } P = CT \quad (6).$$



Sharl qonuni, ya'ni  $P \sim T$

Demak, gaz bosimi temperaturaga to'g'ri proporsional ekan va bu bog'lanishni xarakterlaydigan grafiklar *izoxoralar* deb ataladi. O'zgarish hajmdagi bosimning temperaturaviy koeffitsiyenti:

$$\beta = \frac{1}{p} \left( \frac{dp}{dT} \right)_v = \frac{1}{T}; \text{ Agar } t = 0^\circ C, \text{ bo'lsa, } \beta = \frac{1}{273} K^{-1}.$$



**Avogadro Amedeo** (1776–1856) – italiyalik fizik va kimyogar. Uning asosiy ishlari molekulyar fizikaga bag'ishlangan. Ilk tadqiqotlarida elementar molekular va ularning nisbiy massalari tushunchalarini kiritdi. 1816-yilda fizika va kimyo uchun nihoyatda ahamiyatli qonunini – bir xil sharoitda bo'lgan har xil gaz molekularining soni bir xilligini (Avogadro qonunini) kashf qildi. Har qanday gazning bir molidagi molekular soni bir xil bo'lib, u Avogadro soni –  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  ga tengligini ko'rsatdi va shularga asosan u molekular va atomlar massasini hisoblash usulini ishlab chiqdi.

Yuqoridagi ifoda  $dp = p_0 \beta \alpha dT$ ,

$$\int_0^p dp = p_0 \beta \int_0^T dT \text{ bundan}$$

$$p = p_0 \beta T \text{ yoki } p = p_0(1 + \beta t).$$

### 6. Avogadro qonuni

$PV = \frac{M}{\mu} RT$  ideal gaz holat tenglamasidan Avogadro qonunini keltirib chiqaramiz. Bu qonunga muvofiq, birday bosim va temperaturalarda gazning teng hajmdagi molekulari soni bir xilda bo'ladi:

$$PV = N_1 kT$$

$$PV = N_2 kT$$

$N_1 = N_2$ . Bu esa *Avogadro qonunidir*.

Bundan aksincha,  $N$ –bir xil,  $P$  va  $T$  bir xil bo'lsa, ularning birday hajm egallashi kelib chiqadi.

$$P_1 V_1 = N_1 k T_1$$

$$P_2 V_2 = N_2 k T_2$$

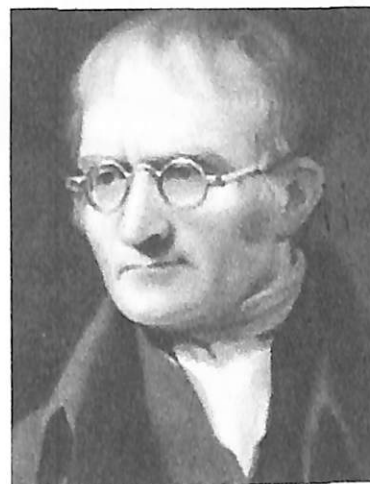
$$P_1 = P_2, \quad N_1 = N_2, \quad T_1 = T_2 \quad V_1 = V_2.$$

$$T_1 = T_2 \quad V_1 = V_2.$$

1 mol gaz uchun  $t = 0^\circ C$  ( $273,15^\circ K$ ) da  $V_A = 22,4$  l.

$n = \frac{N_A}{V_A} = 2,7 \cdot 10^{25} m^{-3}$  yoki  $2,7 \cdot 10^{19} sm^{-3}$ , ya'ni hajm birligida molekular soni bo'lib, normal sharoit uchun *Losmidt soni* deyiladi.

### 7. Dalton qonuni.



**Dalton Djon** (1766 – 1844) – ingliz kimyogari va fizigi. Uning ilmiy ishlari molekulyar fizika sohasiga bag'ishlangan. U havoni adiabatik qisqanda temperaturasini oshishi va adiabatik kengayganda uning temperaturasini pasayishini kuzatdi. To'yingan bug' va o'ta to'yingan bug' xossalari o'rgandi. 1801-yilda gaz aralashmasining umumiy bosimi har bir gazning parsial bosimlar yig'indisiga tengligi – Dalton qonunini kashf qildi. Gey-Lyussakdan bexabar holda doimiy bosimda gaz hajmini temperaturaga bog'liqligini ko'rsatdi. U atomistik tasavvurni kimyoga tadbiiq etib, atom massasi tushunchasini kiritdi va elementlarning atom massalari jadvalini e'lon qildi. Shuningdek, u ko'rish defekti – daltonizmni kashf qildi.

Aytaylik, idish ichida issiqlik muvozanatda bo'lgan, bir-biri bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan turli gazlar aralashmasi bo'lsin. Ular uchun holat tenglamasi  $PV = (N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n) \cdot kT$ .

Bunda komponentalar molekularining soni

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + \dots + N_n = N$$

Gazlarning umumiy bosimi

$$P = \frac{N_1}{V} kT + \frac{N_2}{V} kT + \frac{N_3}{V} kT + \dots$$

Bu tenglamada har bir gaz komponentasining bosimi  $P_i$ :

$$\frac{N_1}{V} kT = P_1, \quad \frac{N_2}{V} kT = P_2, \dots$$

Bu yerda  $P_1, P_2, P_3, \dots$  gazning parsial bosimlaridir. U holda

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i$$

O'zaro reaksiyaga kirishmaydigan gaz aralashmasining umumiy bosimi ularning parsial bosimlarini yig'indisiga teng.

Dalton qonuni ham ideal gaz qonunlaridan biridir. Real gaz uchun chetlashish mavjud.

Sababi, bunda molekulalar orasidagi kuchlar hisobga olingani yo,q.

### §7. Gaz molekularining tezliklari

Molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi gaz molekularining ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi bilan uning absolyut temperatura o'rtasidagi bog'lanishni o'rgatadi:

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (8)$$

Agar  $m = \frac{\mu}{N_A}$  ekanligini hisobga olsak,

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3k \cdot N_A T}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (9)$$

Bu yerda  $\bar{v}$  – molekularning o'rtacha kvadrati tezligi bo'lib,

$$\bar{v} \sim \sqrt{T} \quad \text{va} \quad \bar{v} \sim \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

$PV = \frac{m}{\mu}RT$  dan  $\bar{v}$  ni  $P$  ga bog'lanishini topamiz:

$$\frac{m}{V}RT = P\mu$$

$$\rho RT = P\mu$$

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

Bu munosabatni (9) ga qo'ysak, o'rtacha kvadratik tezlikning bosim bilan zichlikka bog'liqligi kelib chiqadi:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad (10).$$

Demak,  $\bar{v} \sim \sqrt{P}$  va  $\bar{v} \sim \frac{1}{\rho}$  bo'lib, molekularning o'rtacha kvadratik tezligini gazning bosimi va zichligini bilgan holda aniqlash mumkin ekan. Masalan,  $N_2$  uchun  $0^\circ C$ .  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ ,  $P = 1 \text{ atm} = 1,03 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  bo'lganda,

$$\bar{v} \approx \sqrt{\frac{3 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1,25 \text{ kg/m}^3}} \approx 490 \text{ m/s}. \quad H_2 \text{ uchun esa } \bar{v} \approx 200 \text{ m/s}.$$

Gaz molekularining tezligini eksperimental aniqlash katta ahamiyatga ega:

- 1) Uning asosida nazariyada olingan natijalarni tekshirib ko'rish mumkin;
- 2) Boltsman doimiysi  $k$  - ni aniqlash mumkin. Buni 1920-yilda Shtern aniqlagan.

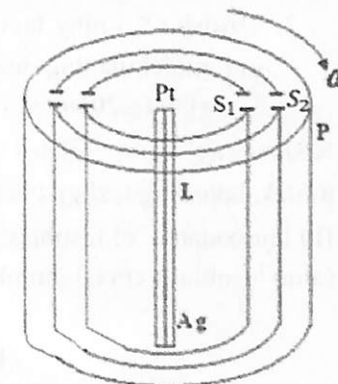
#### Shtern tajribasi.

$Pt$  - simga kumush qoplangan va undan  $I$  tok o'tganda qizib, o'zidan  $Ag$  atomlarini chiqargan (bug'latgan).  $P$  ichki silindr ichida  $S_2$  tirqish qarshisiga jez plastinka joylangan.



Shtern Otto (1888 – 1969) – nemis fizigi. Ilmiy

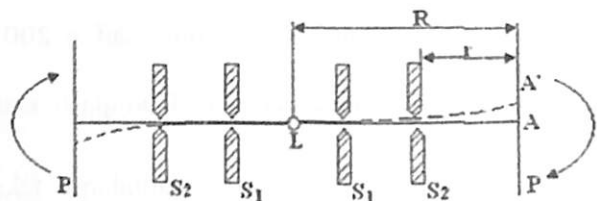
ishlari kinetik nazariya, molekulyar fizika, magnetizm, atom va yadro fizikasi, kvant nazariyasi masalalariga bag'ishlangan. 1920-yilda gaz molekulari issiqlik tezligini tajribada o'Ichadi. Protonning magnit momentini (1933) ochdi. Nobel mukofoti laureati.



12a-rasm

Vakuumd ( $10^{-6} - 10^{-7}$  Tor) da  $P$  silindr  $\omega$  burchak tezlik bilan aylantiriladi ( $\omega = 2\pi n$ ). Agar silindr aylanmasa, uni  $S_2$  tirqish tasvirini hosil qilib, kumush atomlari o'tirib qoladi. Endi sistema  $L$  ga

nisbatan aylanganda molekulalar  $A$  nuqtaga tushmay  $A'$  nuqtaga tushib qoladi. Molekulalar  $r$  masofani  $t = \frac{r}{v}$  vaqt ichida bosib o'tadi. Bu vaqt ichida silindr devorining siljishi  $\delta = \omega R \cdot t = 2\pi n R t$  va  $\delta = AA'$  -yoy uzunligiga teng. (12b-rasm)



12 b-rasm

$$\delta = 2\pi n R \frac{r}{v} \text{ dan } \delta = \frac{2\pi n R r}{v} \quad (11)$$

Tajribadan  $\delta$ ,  $R$ ,  $r$ ,  $n$  larni bilib,  $v = \frac{2\pi n R r}{\delta}$  ni hisoblash mumkin. Tajriba xulosalari:

1.  $v_{\text{obs}} \cong \bar{v}$  ekan
2. Tirqish ( $S_2$ ) ning tasviri ancha yoyilgan, ingichka va aniq emas. Bu esa molekulaning tezliklari turlicha ekanligini bildiradi. Masalan:  $\bar{v}_{Ay} = (300 \pm 20) \text{ m/s}$ .

Nishonning eng zich joyiga (eng ko'p molekulalari) kelgan molekulalarning tezligi  $v \cong 1,3\bar{v}$  ekan.

Bu tajribadan  $k$  ni hisoblash mumkin va tezliklarning taqsimotini baholash (aniq hisoblash emas) mumkin.

### §8. Broun harakati

Molekulalar harakati realligining eng ishonarli tasdiqlaridan biri Broun harakatidir. Broun 1827-yilda suvdagi erigan moddalarning (kolloid zarrachalarining) harakatini mikroskop ostida tekshirdi. Bu zarrachalar to'xtovsiz va tartibsiz (xaotik) harakat qilar ekan. Keyingi tajribalardan bu harakatlar qonuniyati ularning biologik xususiyatlari bilan bog'liq emasligi kelib chiqdi.



Broun Robert (1773 – 1858) – ingliz biolog, fizigi. U suyuqlik yoki gazda muallaq bo'lgan zarrachalarning to'xtovsiz va tartibsiz (xaotik) harakati qonuniyatlarini o'rgangan va bu harakat uning sharafiga Broun harakati deb atalgan. Uning bu xulosasi molekulyar – kinetik nazariyasini yaratilishiga asos bo'ldi. Broun harakatining nazariyasi Eynshteyn va Smoluxovskiy tomonlaridan yaratilgan.

Suyuqlikda, gazda muallaq bo'lgan har qanday kichik zarracha shunday tartibsiz harakatlanar ekan. Bunday harakat Broun harakati deb tan olindi. Maxsus eksperimentlar Broun zarrachalarining harakati zarralar moddasining xossalari emas, balki ular muallaq turgan suyuqlik yoki gazning xossalari bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

Agar bu zarralarning harakati suyuqlik yoki gazning harakatlanayotgan molekulalari tomonidan beriladigan zarbalar tufayli

vujudga keladi desak, u holda bunday harakatning qonuniyatlarini tushuntirish mumkin:

1. Broun zarrasining tezligi  $\sim T$  ravishda oshadi.
2. Broun zarrasining o'lchami kamayishi bilan uning tezligi oshib boradi.

Agar Broun zarrasiga ta'sir etuvchi turtkilar (molekulalarning turtkilari) har bir yo'nalishda teng va qarama-qarshi bo'lsa, unda Broun zarrasi turtkilar ostida xaotik harakat qilmagan bo'lar edi (yoki tinch bo'ladi).

Ammo ko'p sonli sistemalarda – gaz yoki suyuqlik molekulalarining sistemalarida ularning ta'sirlari o'rtacha ta'sir kuchi yoki o'rtacha impulsidan farq qilishlari mavjud.

U yoki bu kattaliklarning kichik hajmda yoki kichik vaqt intervalida o'rtacha qiymatlaridan chekkaga chiqishi fluktuatsiya deyiladi.



13-rasm

Broun zarralarining harakati molekulyar harakat emas, balki uning tartibsiz harakati molekulyar harakatning o'zi mavjud ekanligini juda aniq namoyon qiladi.

Shunday qilib, Broun harakatining yuzaga kelishiga sabab, molekullarning zarraga turli yo'nalishlardan beradigan zarbasi sonining tasodifiy farqi (fluktuatsiyasi) tufayli biror yo'nalishda qandaydir teng ta'sir etuvchi kuch paydo qiladi. Fluktuatsiyalar juda kichik vaqt intervallarida o'zgarib turgani uchun, harakatning yo'nalishi ham o'zgarib turadi (13-rasm). Molekulyar harakatning xaotikligini aks ettiruvchi Broun harakatining xaotikligi ana shunday kelib chiqadi. Broun harakatining miqdoriy nazariyasini birinchi marta Eynshteyn hamda Smoluxovskiylar (1905) ishlab chiqishgan.

Brouning xulosalari:

- 1). Kolloid zarrachalar – to'xtovsiz tartibsiz harakat qilgan ekan;
- 2)  $v$  - sistemaning biologik xususiyatga bog'liq;
- 3) Trayektoriyasi sinq chiziqlardan iborat;
- 4)  $v \sim T$  (temperaturaga bog'liq)



Marian Smoluxovskiy

(28.V.1872 - 5.IX.1917) Avstriya-Vengriya imperiyasi hududlarida ishlagan polshalik fizik bo'lgan. U statistika fizikasining peshqadamlaridan biri bo'lib, Broun harakati va tasodifiy jarayonlar nazariyasiga katta hissa qo'shgan. U Smoluxovskiy tenglamasi, Eynshteyn-Smoluxovskiy nisbati va Feynman-Smoluxovskiy qonunlari bilan mashhur.

- 5)  $v \sim \frac{1}{m}; \frac{1}{D}$  (zarracha massa va o'lchamiga teskari proporsional);
- 6) zarrachalar molekullarining zarbalari natijasida harakat qiladi.

Broun harakati nazariyasini Eynshteyn ishlab chiqdi. Undan bexabar Polsha fizigi M. Smoluxovskiy 1906-yilda Broun harakatining miqdoriy nazariyasini ishlab chiqdi. Har ikkala nazariyaning xulosaviy qonuniyati bir xil, lekin qonuniyat yechimidagi koeffitsiyentlar biroz farq qilgan.

Eynshteynning nazariyasini qisqacha tavsiflaymiz. U Broun zarrasini radiusi  $a$  ga teng bo'lgan sharcha shaklida hisoblab, uning

suyuqlikdagi harakati o'rganilgan. Unga qarshilik kuchi – Stoks kuchi  $F = 6\pi a \eta \dot{x} = 6\pi a \eta \dot{x} = C \dot{x}$ , hamda zarb kuchlari ta'sir qiladi deb faraz qilingan. Bu yerda  $\eta$  - suyuqlikning qovishqoqlik koeffitsiyenti. U holda uning harakat tenglamasi  $M \ddot{x} = -C \dot{x} + X$  ko'rinishda bo'ladi.

Bu yerda  $C \dot{x}$  - Broun zarrasiga ta'sir qiluvchi ishqalanish kuchi bo'lsa,  $X$  - esa Broun zarrasiga uning atrofidagi molekullar tomonidan tartibsiz ta'sir qiluvchi turtki kuchlarni bildiradi. Bu kuchlarning o'rtacha qiymati nolga yaqin bo'lgani uchun, taxminan nolga teng deb olinadi.

Bu tenglamada  $M \ddot{x} = kT$  deb olib,  $\bar{x}^2 = 2kTt/c$  yoki  $\frac{1}{c} = B$  deb olinsa,  $\bar{x}^2 = 2kTt$  ko'rinishdagi echimni olishimiz mumkin. Oxirgi formula Eynshteyn formulasidir.

Smoluxovskiy esa  $\bar{x}^2 = \frac{64}{27} kTt$  ni ko'rinishidagi ifodani keltirib chiqargan. Har ikkala tenglama ham Broun zarrachasining ixtiyoriy o'q - masalan  $x$  bo'yich siljish kvadratining o'rtachasi temperanuraga to'g'ri proporsional va qarshilik kuchiga teskari proporsionalligini tushuntirib beradi.

Agar siljishni fazoda qarasaq, unga  $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$  va  $\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2$  ekanini nazarga olsak,  $\bar{r}^2 = 3\bar{x}^2$  bo'ladi. Bu holda Eynshteyn formulasi  $\bar{r}^2 = 6kTt$  ko'rinishda yozishimiz mumkin.

Bu formula Fransuz fizigi J.Perren tomonidan 1908-yilda qator tajribalarda batafsil tasdiqlangan. Tajribalardan Perren zarracha siljishining o'rtacha kvadratik qiymanini hisoblab, Eynshteyn formulasidan Boltsman doimiysini topgan va uning qiymati  $k$  ning jadvaldagi qiymatlariga yaqin bo'lgan.

## §9. Barometrik formula.

Xaotik molekulyar harakatlar gaz molekullarining idishning butun hajmi bo'yicha tekis taqsimlanishiga olib kelardi va butun hajm bo'ylab  $n = \frac{N}{V} = const$  bo'ladi. Muvozanat holatidagi gazning bosimi va temperaturasi ham butun hajm bo'ylab bir xil bo'ladi. Bu hol molekullarga tashqi kuch ta'sir qilmagandagina bo'ladi. Biz bu holda

og'irlilik kuchi ta'sirida bo'lgan gaz (havo) ni ko'raylik. Agar issiqlik harakati bo'lmasa, hamma gaz molekulari Yerga "qulab tushar" va Yer sirtida yupqa qatlam hosil qilar edi. Agarda og'irlilik kuchi bo'lmaganda edi, u holda Atmosfera tarqab ketar edi.

Atmosfera – Yer sharini o'rab olgan havo qobig'i molekularning issiqlik harakati va Yerning tortish kuchi tufayli mavjuddir. Shu bilan birga, molekularning soni balandlik bo'yicha aniq bir xilda bo'lmisligi tasdiqlangan.

Havoning vertikal ustunini ko'raylik.

Yer yuzida  $x_1 = 0$  da  $P_1 = P_0$  bo'lsin,  $x_2 = x$  da  $P_2 = P$  bo'lsin.

$x$   $dx$  ga ortganda bosim  $P$   $dP$  ga kamayadi.

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

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{V \cdot \rho g}{S} = \frac{S \cdot h \rho g}{S} = \rho g h.$$

Kichik  $dx$  qalinlikdagi havo ustunining bosimi  $dP = -\rho g dx$  (1) (-) ishora  $x$  ortadi bilan bosimning kamayishini bildiradi.

Bizga ma'lumki,  $\rho = mn$  (2) teng.

Kinetik nazariyada  $PV = NkT$  yoki

$$P = nkT \quad (3)$$

(2) va (3) dan  $P = \frac{\rho}{m} kT$  bunda

$$\rho = \frac{Pm}{kT} \quad (4) \text{ ekanligini hisobga olamiz hamda (1) va (4) dan}$$

$$dP = -\rho g \cdot dx = -\frac{mg}{kT} P \cdot dx$$

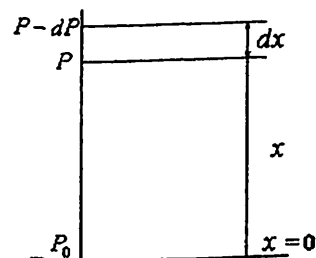
$$\frac{dP}{P} = -\frac{mg}{kT} dx \quad (5)$$

Agar temperaturani  $T = const$  desak (bu albatta noto'g'ri) va tenglamani integrallasak,

$$\ln P = -\frac{mg}{kT} x + \ln C,$$

$$P = Ce^{-\frac{mg}{kT} x}$$

Agar boshlang'ich shartda  $x=0$  da  $P = P_0$



14-rasm

bo'lsa, unda  $C = P_0$  bo'ladi.

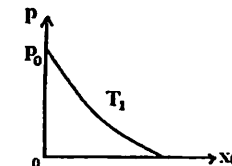
Umumiy holda

$$P = P_0 e^{-\frac{mg}{kT} x} \quad (6)$$

Bu bizni qiziqtirayotgan havo bosimining balandlikka bog'liqligini ifodalovchi formuladir.

Agar  $m = \frac{\mu}{N_A}$  ekanligini hisobga olsak, unda

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu R}{RT} x} \quad (7) \text{ bo'ladi.}$$



Bosimning balandlik ortishi bilan kamayib borishini ko'rsatuvchi tenglama *barometrik formula* deyiladi. Mana shu tenglama orqali bosimni berilgan balandlikda o'lchab, uning absolyut (dengiz sathiga nisbatan)  $x$ -ni aniqlaymiz.

Ammo, balandlik oshishi bilan temperatura kamayib boradi. Shuning uchun temperatura tuzatmasini ko'rsatishimiz kerak.

Mana shu barometrik tenglamadan  $x$ ,  $P$ ,  $P_0$  larning o'lchab,  $k$  – Boltsman doimiysini aniqlash mumkin. Ammo uni aniqlash aniqligi uncha katta bo'lmaydi. Sababi, temperatura tuzatmasini hisobga olinmaganligi bunga sabab bo'ladi.

(6) formuladan  $n \sim x$  bog'liqligini aniqlash mumkin.

(2) dan  $P = nkT$  ligini hisobga olsak va  $P_0 = n_0 kT$  desak,

$$n = n_0 e^{-\frac{mg}{kT} x} \quad (8) \text{ bo'ladi.}$$

$n$  va  $n_0$  balandliklari  $x$  ga farq qilgan nuqtalardagi molekular konsentratsiyasi. Biz tenglamani keltirib chiqarganimizda  $g = const$  dedik ( $x$  bir necha o'n km).

Lekin katta balandliklarda  $g \sim h$  va  $h \rightarrow g \leftarrow$ , butun olam tortishish qonuniga asosan

$$g(r) = \gamma \frac{M}{r^2} = \gamma \frac{M}{(r_0 + x)^2}, \quad (9)$$

Bu yerda  $M$  – Yerning massasi,  $r_0$  – Yerning radiusi.

$$(9) \rightarrow (5), \quad \frac{dP}{P} = -\gamma \frac{Mm}{kT} \frac{dx}{(r_0 + x)^2};$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp \left[ - \frac{mg \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right)}{kT} (x_1 - x_2) \right] \quad (15) \text{ bo. Jadi.}$$



Bunda  $m, \rho, \rho_0, T$  va  $x_1, x_2$  larni bilsak,  $n_1, n_2$  larni aniqlab,  $k$  ni topish mumkin.

Buning uchun  $\rho_0$  ni aniqlash kerak. Perren buni quyidagicha bajardi:

1. Piknometrda to'ldirgan suvning massasi  $M_0$  tortish usuli bilan aniqlanadi.

Bunda  $\frac{M_0}{\rho_1} = V_{pk}$  piknometrning hajmi bo'ldi,  $\rho_1$  - suvning zichligi.

2. So'ngra piknometrni to'ldirgan emulsiya massasi  $M_1$  aniqlanadi.

3. So'ngra emulsiyali piknometr pechda quritilib, suvi bug'lanadi va qaytadan uni tortib idishdagi emulsiya zarralarining massasini  $M_2$  aniqlanadi. Shundan so'ng,

suv hajmi  $V_{suv} = \frac{M_1 - M_2}{\rho_1}$  va emulsiya zarralarining hajmi  $V_{em} = V_{pk} - V_{suv}$  ni

$V_{em} = \frac{M_0}{\rho_1} - \frac{M_1 - M_2}{\rho_1}$  dan aniqlanadi. Zarralar moddasining zichligi  $\rho_0$  ni

$V_{em} = \frac{M_0 - M_1 + M_2}{\rho_1}$  ekanligini hisobga olib aniqlaymiz:

$$\rho_0 = \frac{M_2}{V_{em}} = \frac{M_2 \rho_1}{M_0 - M_1 + M_2} = ? \quad (a)$$

4.  $\bar{v}$  - zarrachalarning tezligi aniqlandi:  $\bar{v} = ?$

5.  $F = 6\pi\eta av$  Stoks kuchi, bu yerda  $a$  - kolloid zarracha radiusi.

$\bar{v} = const$  uchun  $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$  edi.

Bitta kolloid zarracha massasi  $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0 g$ , og'irligi  $mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0 g$

ga teng.

$F_1 = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho) g$  zarrachani eritmadagi og'irligi bo'lib, Arximed kuchi

hisobga olingan ( $F_A = V\rho g$ ).

14-rasm

$6\pi\eta av = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_0 - \rho) g$  tenglamadan quyidagi ifodani olamiz:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho_0 - \rho)}} = ? \quad (v)$$

6.  $a$  ni bilsak  $m$  quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_0 = ? \quad (g)$$

7. (15) formuladan Boltsman doimiysi

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

tajriba natijalariga asosan aniqlanadi.

Lekin bu  $k$  qiymati qabul qilingan qiymatdan biroz kichik. Keyinchalik boshqa olimlar bu usuldan foydalanib,  $k$  ning jadvaldagi qiymatiga ancha yaqin qiymatini topishdi.

### §10. Boltsman qonuni

Og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan barometrik formula

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

Bu yerda  $mg$  molekula



**Boltsman Lyudvig** (1844 – 1906) – avstraliyalik fizik. Gratse va Venada professor bo'lgan, statistik fizikaning asoschilaridan biri. Molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi bilan absolyut temperatura orasidagi bog'lanishni, teng taqsimot qonuni va barometrik formulalarni aniqlagan. Entropiya bilan holat ehtimolligi o'rtasidagi bog'lanishini aniqlagan (1887). Stefan tomonidan 1879 yilda empirik ravishda aniqlangan qora jism nurlanish energiyasining absolyut temperaturani to'rtinchi darajasiga proporsionalligi haqidagi qonuni (Stefan-Boltsman qonuni), 1875 yilda o'zi ishlab chiqqan metod yordamida gazlar va bug'lar uchun dielektrik doimiyni o'lchab,  $\epsilon = n^2$  qonunining to'g'riligini bir qancha gazlar uchun aniqlagan. Uning "Gazlar nazaryasidan ma'ruzalar" degan klassik asari 1896 – 1898 yillarda nashr etildi.

zarracha og'irligi,  $mgx$  shu molekulaning potensial energiyasidir, ya'ni

$$U = mgx$$

Yuqoridagi formula potensial energiyasi  $U$  ga teng bo'lgan sistemadagi zarralar sonidir (yoki konsentratsiyasidir).

Agar  $x=0$  da  $U=0$  bo'lsa, unda  $n=n_0$  bo'ladi. Agar og'irlik kuchidan boshqa kuchlar ta'sir qilganda ham Boltsman formulasi boshqa ko'rinishda bo'lsa ham, gazning tabiati o'zgarib ketadi deyishga hech qanday asos yo'q. Agar zarralar biror maydonda bo'lsa va  $U$  potensialga ega bo'lgan zarralar soni  $n=n_0 e^{-\frac{U}{kT}}$ , demak, issiqlik muvozanat sharoitida  $\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{U}{kT}}$ , bunga asosan,  $\frac{n}{n_0}$  - zarralarning nisbati faqat  $U$  ga emas, balki  $T$  ga ham bog'liq.

1)  $T = const$  bo'lganda  $U \rightarrow$  da  $\frac{n}{n_0} \leftarrow$  (ulush kamayadi).

$T$  qancha past bo'lsa,  $U \rightarrow$  ca  $\frac{n}{n_0}$  - ulush shuncha tez kamayib ketadi.

2)  $T \rightarrow$ , berilgan  $U$  da  $\frac{n}{n_0} \rightarrow$ , sababi,  $\frac{n}{n_0} = \frac{1}{e^{\frac{U}{kT}}}$ ,  $T \rightarrow e^{\frac{U}{kT}} \leftarrow$ ,  $\frac{n}{n_0} \rightarrow$  (ulush ortadi).

Demak, Boltsman qonuni berilgan temperaturada aniq potensial energiyaga ega bo'lgan molekularning ulushini ko'rsatadi.

## §11. Ehtimollik haqida tushuncha

1. **Ehtimollik terminini**, «ishonchlilik», aniqlik terminidan farq qilishimiz zarur.

Bu termin tasodifiy, amalga oshish sharoitlari noma'lum bo'lgan va ishonch bilan avvaldan aytish mumkin bo'lmagan voqealar uchun o'rinalidir. Masalan: 1. Tramvayda  $N=10$  ta bilet olaylik, hammasi juft bo'lishi yoki 6, 4, 3, 5 tasi juft bo'lishi mumkin. Agar  $N \rightarrow \infty$  bo'lsa,  $\frac{1}{2}$  qismi juft bo'lishi mumkin.



**Stefan Iozef** (1835 – 1893) – avstraliyalik fizik. Qora jism to'la nurlanishi energiyasini jism temperaturasining to'rtinchi darajasiga proporsionalligini ko'rsatuvchi empirik qonunni aniqladi (Stefan – Boltsman qonuni). Gazlar nazariyasi (diffuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik, ichki ishqalanish), akustika, kristallar optikasi, elektromagnit maydon nazariyasi masalalari bilan shug'ullangan va yorug'likning to'lqin uzunligini o'lchash metodlarini taklif qilgan.

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

Ularning yig'indisi  $W + W' = 1$ , ya'ni  $\frac{N' + N - N'}{N} = 1$ .

### 2. Ehtimolliklarni qo'shish

Agar,  $W_1, W_2, W_3, \dots$  lar mustaqil va bir-birini istisno qiluvchi bir necha voqealarning ro'y berish ehtimolligi bo'lsa, u holda bu voqealardan birortasining amalga oshish ehtimolligi, bu barcha voqealarning ehtimolliklarining yig'indisiga teng.

Masalan:

1. Yashikda 20 shar, 5 tasi oq bo'lsa, qolgani qora. Har bir sharning olinish ehtimolligi  $\frac{1}{20}$  bo'ladi.

Oq shar olish ehtimolligi  $W = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$  bo'ladi.

2. 25 ta o'quvchi imtihon topshirsa, ulardan 5 tasi topshira olmasa, imtihon topshira olmaslik ehtimolligi

$z$  bo'yicha  $0 \div \infty$ . Qatlamdagi molekular soni  $n_z = \text{const}$  bo'lishi uchun oqimlar:  $J_{yug \uparrow}$  va  $J_{par \downarrow}$  oqimlari o'zaro teng bo'lishi kerak.  $\Delta S$  yuzadan  $\Delta t$  vaqtda o'tgan molekular soni  $N = v \cdot \Delta S \cdot \Delta t \cdot n$ : Undan

$$J_{yug \uparrow} = \frac{N}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta S \cdot v \cdot \Delta t \cdot n}{\Delta S \cdot \Delta t}, \text{ demak } J = nv \text{ va } dJ = v \cdot dn.$$

$$J_{yug \uparrow} = J_{par \downarrow} \text{ yoki } \Delta v \uparrow = \Delta v \downarrow, \quad J \uparrow = \frac{N}{\Delta S \cdot \Delta t} = n \cdot v$$

I.  $z_0$  balandlikdagi molekulaning tezliklarining  $v_{z_0}$  dan  $v_{z_0} + dv_{z_0}$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi molekularning soni

$$dn_{z_0} = n_{z_0} f(v_{z_0}) \cdot dv_{z_0} \quad (3)$$

$$\text{va } dN = dJ = dn \cdot v$$

Pastdan yuqoriga o'tuvchi molekular soni yoki oqimi  $J \uparrow$

$$J \uparrow = \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} n_{z_0} v_{z_0} f(v_{z_0}) dv_{z_0} = n_{z_0} \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} v_{z_0} f(v_{z_0}) dv_{z_0}$$

Pastga yuqoridan o'tuvchi molekularning umumiy soni yoki oqimi  $J \downarrow$

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

$J \uparrow = J \downarrow$  bo'lishi kerakligidan:

$$n_{z_0} \int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} v_{z_0} \cdot f(v_{z_0}) dv_{z_0} = n_z \int_0^{\infty} v_z \cdot f(v_z) dv_z \cdot \left| \frac{1}{n_{z_0}} \right. \text{ ga ko'paytiramiz va}$$

$\frac{n_z}{n_{z_0}} = e^{-\frac{mgz}{kT}}$  ekanligini Boltzman qonunidan ma'lumligi hisobga olsak,

$$\int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} v_{z_0} \cdot f(v_{z_0}) dv_{z_0} = e^{-\frac{mgz}{kT}} \int_0^{\infty} v_z \cdot f(v_z) dv_z \quad (4)$$

(1) dan energiyaning saqlanish qonunidan  $mgz = \frac{mv_{z_0}^2}{2} - \frac{mv_z^2}{2}$  ni tezlik bo'yicha

$$\text{differensiyalaymiz } d\left(\frac{mv_{z_0}^2}{2}\right) = d\left(\frac{mv_z^2}{2} + mgz\right)$$

$$m \cdot \frac{2v_{z_0} \cdot dv_{z_0}}{2} = m \cdot \frac{2v_z \cdot dv_z}{2} + 0 \text{ va bundan}$$

$v_{z_0} \cdot dv_{z_0} = v_z \cdot dv_z$  (5), chunki  $z = \text{const}$  edi.

va  $\int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} v_{z_0} \cdot dv_{z_0} \approx \int_0^{\infty} v_z \cdot dv_z$  almashtirishni amalga oshiramiz, (4)  $\rightarrow$  (5) ga qo'ysak,

$\int_{\sqrt{2gz}}^{\infty} f(v_{z_0}) v_{z_0} \cdot dv_{z_0} = e^{-\frac{mgz}{kT}} \int_0^{\infty} f(v_z) v_z \cdot dv_z$  hosil bo'ladi. Bundan quydagi tenglik kelib chiqadi:

$$f(v_{z_0}) = f(v_z) e^{-\frac{mgz}{kT}} \quad (6)$$

va  $mgz = \frac{mv_{z_0}^2}{2} - \frac{mv_z^2}{2}$  ni hisobga olib, quydagi tenglikni hosil qilamiz

$$\text{Demak, } f(v_{z_0}) = A e^{-\frac{mv_{z_0}^2}{2kT}} \quad (7)$$

Tezliklarining  $z$  - komponentalari  $v_z$  dan  $v_z + dv_z$  gacha intervalda yotgan hajm birligidagi molekular soni endi quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$dn = n f(v) \cdot dv \text{ edi,}$$

$$dn = n A e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv, \text{ yoki } \frac{dn}{n} = A e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv \quad (8)$$

$\frac{dn}{n}$  - gazning ixtiyoriy molekulari tezligining,  $z$  - komponentasini  $dv_z$  aniqlikda  $v_z$  ga teng ekanligining ehtimoli edi.

Endi (8) dagi  $A$  ni aniqlaymiz.

Shuning uchun (8) da  $v_z$  ni  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha - tezlik intervalida integrallaymiz.

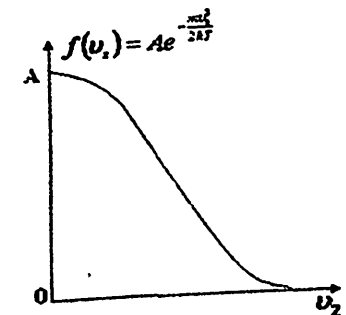
( $v \neq \pm \infty$  emas). Lekin nisbatan shunday olamiz (lekin  $v < c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/c}$  albatta!).

Bunda qiladigan xatoligimiz 1% dan ortmaydi.

Shuning uchun

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dn}{n} = A \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv = 1 \text{ bo'lishi}$$

kerak, ya'ni barcha molekular ulushlarining yigindisi 1 ga teng.



16 - rasm.

O, zgaruvchini almashtirib integrallaymiz.

$$x^2 = \frac{mv_z^2}{2kT}, \quad v_z = \sqrt{\frac{2kT}{m}}x, \quad dv_z = \sqrt{\frac{2kT}{m}}dx$$

Integrallash chegaralari albatta  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha bo'ladi.

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} dv_z = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}}, \text{ chunki } \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}.$$

$$A \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} dv_z = A \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} = 1, \text{ bundan } A = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} \quad (9)$$

Taqsimot funksiyasi ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$f(v_z) = \frac{dn}{n \cdot dv_z} = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} \quad (10)$$

Bu funksiyaning grafik tasviri quyidagichadir:

$$v_z = 0 \quad f(v_z) = A = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}}$$

$v_z \rightarrow \infty$  da  $f(v_z) \rightarrow 0$  va  $v_z \rightarrow 0$  da  $f(v_z) \rightarrow A$ , ya'ni, tezligi 0 ga yaqin

bo'lgan molekullarning ulushi  $A$  ga

teng bo'ladi. Fizik ma'nosini:

$T \rightarrow A \leftarrow$ , ya'ni bu ulush kamayadi.

$f(v_z)$  ning  $v_z$  ga bog'lanish grafigi

rasmda keltirilgan va uning

temperaturaga bog'liqligi rasm

ko'satilgan.  $Z$  taqsimot funksiyasini

chiqarishda barometrik formuladan

foydalandik. Lekin formulada og'irlik

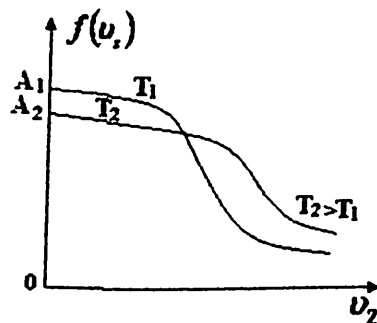
kuchi yo'q,  $g$  ham yo'q!

Biror maydon ta'sirida bo'lgan ideal

gaz o'zining xususiyatini yo'qotmaydi ham degan edik. Shuning uchun bu

taqsimotni og'irlik kuchi hosil qildi deb bo'lmaydi, balki uning xotik

harakatining "mevasidir" deyish mumkin.



17 - rasm.

## §14. Molekullarning tezliklar bo'yicha taqsimoti

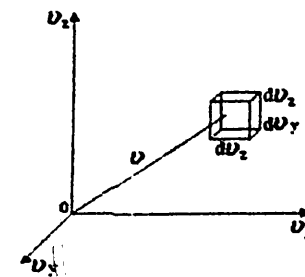
Gaz molekullari  $z$  komponentlari bo'yicha taqsimot funksiyasining ifodasi

$$f(v_z) = \frac{dn_z}{n \cdot dv_z} = A e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} \text{ ko'rinishda edi.}$$

Boshqa komponentlari bo'yicha ham taqsimot funksiyalari ifodalari ham shunga o'xshash bo'ladi; yozish mumkin:

$$f(v_x) = \frac{dn_x}{n \cdot dv_x} = A e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}}$$

$$f(v_y) = \frac{dn_y}{n \cdot dv_y} = A e^{-\frac{mv_y^2}{2kT}}$$



18 - rasm.

Biz esa ayni vaqtda uchta quyidagi shartlarni qanoatlantiruvchi funksiyalarni topishimiz kerak:

- 1) Gazning  $x$  o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_x$  dan  $v_x + dv_x$  chegarada yotadi;
- 2) Gazning  $y$  o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_y$  dan  $v_y + dv_y$  chegarada yotadi;
- 3) Gazning  $z$  o'q bo'yicha tashkil etuvchisi  $v_z$  dan  $v_z + dv_z$  chegarada yotadi;

Biror vaqt momentida  $v_x \neq v_y \neq v_z$  bog'liq emas. Bir vaqtda shu uchta shartni qanoatlantirish ehtimolligi murakkab voqeaning ehtimolligidir.

Birinchi shart uchun  $dW_x = f(v_x)dv_x = \frac{dn_x}{n}$

ikkinchi shart uchun  $dW_y = f(v_y)dv_y = \frac{dn_y}{n}$

uchunchi shart uchun  $dW_z = f(v_z)dv_z = \frac{dn_z}{n}$

Shu fazodagi  $x, y, z$  koordinata o'qlari bo'yicha tashkil etuvchi tezliklariga bir vaqtda ega bo'lish ehtimolligi

$$dW_{x,y,z} = \frac{dn_{x,y,z}}{n} = dW_x \cdot dW_y \cdot dW_z,$$

$$dW_{x,y,z} = A^3 e^{-\left(\frac{m\vartheta_x^2}{2kT} + \frac{m\vartheta_y^2}{2kT} + \frac{m\vartheta_z^2}{2kT}\right)} dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z;$$

$$\text{yoki } dn_{x,y,z} = nA^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z,$$

$$A = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ va } v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \text{ ni hisobga olsak}$$

$$dn_{x,y,z} = n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z \quad (1)$$

Bu formula hajm birligidagi gaz molekularining sonidan qanchasi

$$v_x \text{ va } v_x + dv_x$$

$$v_y \text{ va } v_y + dv_y$$

$$v_z \text{ va } v_z + dv_z$$

intervallarida yotgan tezlikli molekular sonini ko'rsatadi. Buning geometrik ma'nosi quyidagicha: gazning hajm birligidagi  $v$  tezlik komponentalari yuqorida aytgan intervallarda bo'lgan molekularni to'plab koordinata markazidan  $\bar{v}$  yo'nalishda qo'yib yuborsak, ular  $t=1s$  keyin  $v$  masofada

$$d\omega = dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z \quad (1)$$

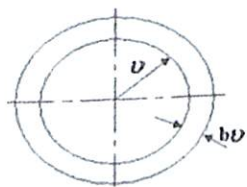
parallelepiped uchidagi katakda bo'ladi ( $d\omega \neq dV$  emas! Chunki,  $d\omega$  - tezliklar fazosidagi hajm).

Bu yerda  $d\omega$ -tezliklar "fazosi"dagi hajm birligidagi molekularning soni.

$$\frac{dn_{x,y,z}}{dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z} = \frac{dn_{x,y,z}}{d\omega} = n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

$$dn_{x,y,z} = nA^3 \int(\vartheta) d\omega \quad (2)$$

Bu kattalik  $\bar{v}$  yo'nalish bilan bog'liq emas. Agarda gazning  $\vartheta$  tezlikga ega bo'lgan barcha hajm birligidagi molekularini bitta nuqtaga to'plab qo'yib yuborsak, unda molekular radiusi  $v$  va qalinligi  $dv$  teng bo'lgan shar qatlamida taqsimlangan bo'ladi. Bu shar qatlami yuqorida ta'kidlangan "parallelopipedlarning" uchidagi kataklarining yig'indisidan iborat (19-rasmda).



19 - rasm.

Butun qatlamdagi molekular soni hajm birligidagi tezliklari  $v$  dan  $v + dv$  gacha bo'lgan intervalda yotgan molekular sonidir (19-rasmda).

Bu son

$$dn = n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} d\omega$$

(3)

Bu yerda

$$d\omega = 4\pi v^2 dv$$

(4)

teng bo'lgan shar qatlamining hajmidir.

(4)→(3)

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

$$\frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv \quad (5)$$

Bu formula molekularning tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimot qonunini ifodalaydi.

$\frac{dn}{n}$  kattalik gazning ixtiyoriy tanlangan molekulasining  $v$  va  $v + dv$  tezlik intervalida yotuvchi tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir, yoki hajm birligidagi molekularning ulushidir

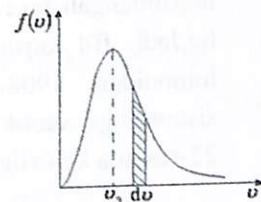
Taqsimot funksiyasi yoki ehtimollik zichligi:

$$f(v) = \frac{dn}{ndv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (6)$$

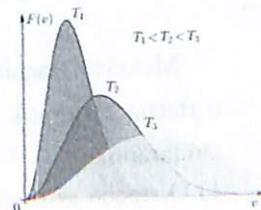
Bu funksiya gaz hajmi birligidagi molekularning tezliklari oniy tezliklarini o'z ichiga olgan tezliklarining birga teng,  $v, \vartheta + 1$  intervaldagi yotgan ulushini bildiradi.

$$v \rightarrow 0 \text{ da } f(v) \rightarrow 0 \text{ va } v \rightarrow \infty \text{ da } f(v) \rightarrow 0.$$

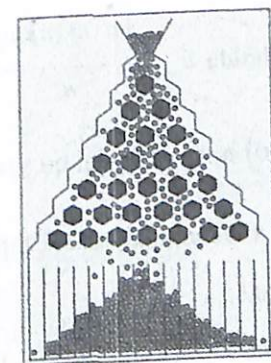
Bu taqsimotda  $v = v_0$  da  $f(v_0) = \max$ , ya'ni molekularning eng ko'p ulushi  $v = v_0$  tezlikka yaqin tezlikka ega bo'ladi. Bu taqsimot gaz turiga ( $\sim m$  ga) va temperaturaga bog'liq. Temperatura ortishi bilan taqsimot funksiyasining ko'rinishi qanday o'zgarishi 21-



20 - rasm.



21 - rasm.



22 - rasm.

rasmda ko'rsatilgan.

Agar gaz molekularning tezliklari Maksvell qonuniga muvofiq taqsimlangan bo'lsa, u holda molekularning harakati batamom tartibsiz bo'ladi. Bu taqsimot tajribada yuqori bo'lmagan aniqlik bilan Galton tomonidan 1908-yilda tekshirib ko'rgan. Sun'iy davriy to'siqlar sistemasiga xaotik to'qnashib tushgan sharchalar sistemasining taqsimoti 22-rasmda keltirilgan.

### §15. Molekularning o'rtacha tezliklari

Maksvell taqsimot funksiyasidan foydalanib, o'rtacha arifmetik  $\bar{v}_{ar}$ , o'rtacha kvadratik  $\bar{v}_{kv} = \sqrt{\bar{v}^2}$  va eng katta ehtimolliiy tezligi  $v$ , ni keltirib chiqaramiz.

1) O'rtacha arifmetik tezlik  $\bar{v}_{ar}$  - hajm birligidagi molekularning barcha absolyut tezliklari yig'indisini hajm birligidagi molekular soniga nisbatiga teng, ya'ni

$$\bar{v}_{ar} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \text{ yoki } \bar{v}_{ar} = \frac{\int v \cdot dn}{n}, \text{ chunki } \int dn \cdot v = \sum_{i=1}^n v_i$$

Hajm birligida tezliklari  $v$  dan  $v + dv$  gacha intervalda yotgan molekular soni  $dn = nf(v)dv$ .

Tezliklari yig'indisi  $\int_0^{\infty} v \cdot nf(v)dv$  ga teng.

$$\text{U holda } \bar{v}_{ar} = \frac{\int_0^{\infty} v \cdot nf(v)dv}{n} = \int_0^{\infty} v \cdot f(v)dv \quad (1)$$

$$f(v) \text{ ning ifodasini qo'ysak, } \bar{v}_{ar} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} v^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv \quad (2)$$

O'rtacha qiymatni topish uchun  $f(v)dv$  ni ko'paytirib,  $\int$  olish kerak ekan!

$v \cdot dv = \frac{1}{2} d(v^2)$  bo'lishini hisobga olsak,

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

$z = \frac{mv^2}{2kT}$  - belgilash kiritsak,  $dz = \frac{m}{2kT} d(v^2)$  bo'ladi hamda maxsus integral qiymati  $\int_0^{\infty} z e^{-z} dz = 1$  teng ekanligi e'tiborga olamiz:

$$\text{Integral qiymati } \frac{1}{2} \int_0^{\infty} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} d(v^2) = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{2kT}{m} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} z e^{-z} dz = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{2kT}{m} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{U holda } \bar{v}_{ar} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{2} \left( \frac{2kT}{m} \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

$$\text{Demak, o'rtacha arifmetik tezlik } \bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (3)$$

yoki  $\bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$  ga teng ekan.

Xuddi shu tariqa tezlikning biror koordinata o'qi bo'yicha tezlikning tashkil etuvchisining o'rtacha arifmetik qiymatini topish mumkin.

Umuman olganda,  $\sum_{i=1}^n \bar{v}_x = 0$  bo'lishi mumkin. Sababi  $v_x > 0$ ,  $v_x < 0$  bo'lishi mumkin! Agar tezlik tashkil etuvchisi modulini hisoblasak, unda  $|v_x| \neq 0$ .

$$\text{Demak, } |\bar{v}_x| = \int_0^{\infty} v_x \cdot f(v_x) dv_x \quad (4)$$

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

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

$\frac{mv_x^2}{2kT} = z^2$  deb hisoblasak va  $\int_0^{\infty} z e^{-z} dz = 1$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$|\bar{v}_x| = \sqrt{\frac{2kT}{\pi m}} \quad (5) \text{ ga tengligi kelib chiqadi.}$$

(1) va (4) lardan  $|\bar{v}_x| = \frac{\bar{v}}{2}$  ekan.

Shu ifoda orqali yuza birligidan vaqt birligida o.tayotgan molekulalarning sonini hisoblaymiz, ya'ni

$$N_r = \frac{1}{2} n |\bar{v}_r| \cdot \Delta S_r \cdot \Delta t$$

$$J_x = \frac{N_r}{\Delta S_r \cdot \Delta t} = \frac{1}{2} n |\bar{v}_r| = \frac{1}{4} n \bar{v}$$

$$\bar{J}_x = \frac{1}{4} n \bar{v}$$

2) Molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligi  $\bar{v}^2 = \frac{\sum v_i^2}{n}$  yoki

$\bar{v}^2 = \int_0^\infty v^2 f(v) dv$  ifodadan aniqlanadi.

$$f(v) \text{ ning ifodasini qo'ysak } \bar{v}^2 = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} \frac{1}{2} \int_0^\infty v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$$

Belgilanishlar kiritamiz:  $v^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} d(v) = dU$  va  $v = U$

Bo'laklab integrallash qoidasiga binoan  $\int U \cdot dU = U \cdot U - \int U \cdot dU$ .

Yuqoridagi integralni bo'laklab integrallaymiz va  $\int_0^\infty v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$  ni olamiz.

Maxsus integral jadvalidan  $\int_0^\infty x^2 e^{-ax} dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$

Shuning uchun  $\int_0^\infty v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} d(v) = \frac{3}{8} \left( \frac{2kT}{m} \right)^2 \sqrt{\pi}$

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

$$\bar{v}_{kv} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad \text{yoki} \quad \bar{v}_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (6)$$

avval ham bu formulani molekulalarning kinetik energiyasi ifodasidan keltirib chiqargan edik.

## §16. Molekulalarning eng katta ehtimoliy tezligi

Molekulalarning eng katta ehtimoliy tezligi  $v_c$  ni, ya'ni molekulalarning eng ko'p qismining tezliklariga yaqin bo'lgan tezlikni hisoblaymiz. Buning uchun taqsimot funksiyasini  $f(v)$  ni  $\frac{d}{dv}$  bo'yicha hosilasini olib nolga tenglaymiz, ya'ni

$$\frac{d}{dv} [f(v)] = 0$$

$$\frac{d}{dv} [f(v)] = \frac{d}{dv} \left[ \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \right] = 0$$

Buning uchun  $\frac{d}{dv} \left( v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \right) = 0$  bo'lishi kerak.

$$2v \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} - v^2 \frac{m}{2kT} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \cdot 2v = 2v \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \left( 1 - \frac{mv^2}{2kT} \right) = 0$$

da bu ifoda  $v \rightarrow 0$  va  $v \rightarrow \infty$  bo'lishi mumkin. Lekin biz ko'rayotgan holda ehtimoliy tezlik chekli qiymatlarga ega.

Shuning uchun  $1 - \frac{mv^2}{2kT} = 0$ . Bundan  $v_c = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$  (7)

yoki  $v_c = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$  (7')

tezliklarni taqqoslasak,  $\bar{v} > \bar{v} > v_c$  yoki  $\bar{v} = 1,09 \bar{v} = 1,22 v_c$  nisbatda bo'ladi.

## §17. Nisbiy tezliklar uchun Maksvell formulasi

Ko'p masalalarni yechish uchun Maksvell formulasidan ko'ra gaz molekulalari tezliklarning nisbiy birliklarda ifodalangan shaklidan foydalanish ancha qulay. Nisbiy tezlik molekulaning tezliklarini eng katta ehtimollik tezlik  $v_c$  ga nisbatiga teng. Demak, nisbiy tezlik

$$u = \frac{v}{v_c}, \quad (1)$$

$v$ - molekularning berilgan tezligi. Taqsimot funksiyasidan molekularning nisbiy tezliklar  $u$  bo'yicha taqsimot funksiyasini keltirib chiqaramiz:

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

$$\left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} = \frac{1}{v_c^3}$$

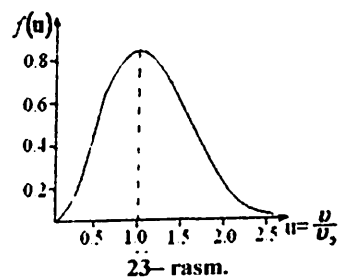
$$du = \frac{dv}{v_c} = \left( \frac{m}{2kT} \right)^{1/2} dv; \text{ nisbiy tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasi}$$

$$f(u) = \frac{dn}{n \cdot du} = \frac{dn}{n \cdot \frac{dv}{v_c}} = f(v) \cdot v_c$$

Bunga asosan,

$$f(u) = \frac{dn \cdot v_c}{n \cdot dv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{v_c^3} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \cdot v_c = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2$$

$$f(u) = \frac{dn}{n \cdot du} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2 \quad (1)$$



Bu tenglama universal tenglamadir.

Bu taqsimot funksiyasi temperaturaga va gazning turiga bog'liq emas.

Sababi  $u = \frac{v}{v_c} \sim \sqrt{\frac{T}{m}}$   $T$  va  $m$  larga bog'liq emas.

Xuddi shu tenglamani tezlik komponentalari bo'yicha ham tuzish mumkin:

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

Agarda  $v_c = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$  desak,  $\frac{v_x}{v_c} = u_x$  desak,

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

Nisbiy tezliklar uchun taqsimot universal egri chizig'i adabiyotlarda beriladi (23-rasm). Bu egri chiziq  $T$  va  $m$  larga bog'liq emas.

$\frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2$  va  $\frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2}$  funksiyalarni ixtiyoriy qiymatlar bo'yicha jadvalini hisoblab tuzish mumkin. Bu jadvaldan ixtiyoriy tezlik intervallari uchun taqsimot funksiyasining qiymatini aniqlash mumkin. Masalan.  $N_2$  uchun  $T=300K$ ,  $v = 275 m/s$ ,  $v_2 = 276 m/s$  oralig'ida bo'lgan molekular ulushini topish kerak.

$$v_c = \sqrt{\frac{2RT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \approx 394 m/s$$

$$v_1 = v = 275 m/s, \Delta v = 1 m/s, u = \frac{v}{v_c} = \frac{275}{394} \approx 0,70,$$

$$\Delta v = 276 - 275 = 1 m/s$$

$\Delta u = \frac{\Delta v}{v_c} = \frac{1}{394} \approx 0,0025$  qiymatni aniqlab, molekularning ulushini

hisoblaymiz:  $\frac{\Delta n}{n} = f(u) \cdot \Delta u$  va  $\frac{\Delta n}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot u^2 e^{-u^2} = 0,677 \cdot 0,0025 = 1,7 \cdot 10^{-3}$

Demak, molekularning 0,17% shu tezlik intervalida yotar ekan.

Ko'pincha amalda molekularning tezligi biror qiymatdan katta yoki kichik bo'lgan ulushini hisoblash kerak bo'ladi.

Masalan:  $u > u_0$ ,  $\frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2 \cdot du$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{u_0}^{\infty} z^2 \cdot e^{-z^2} \cdot dz, \text{ masalan } u_0 = 0,3 \text{ bo'lsin.}$$

$$U \text{ holda } \frac{\Delta n}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{0,3}^{\infty} z^2 \cdot e^{-z^2} \cdot dz = 0,9802$$

Demak, molekularning 98,02 % qismi shu tezlikdan katta bo'lgan tezlikka ega bo'lar ekan.

### §18. Molekularning tezliklar bo'yicha taqsimoti qonuni va planetalarning atmosferalari

Boltsman taqsimotida Yer atmosferasining muvozanati va koinotga havoning uzluksiz sochilishi mumkinligini ko'rgan edik. Molekularning tezliklar bo'yicha taqsimot qonuni bu masalani o'rganishga imkon beradi. Biror jism yoki havo molekulari yerning tortishish kuchini yengib, uni tark

etish uchun ikkinchi kosmik tezlik  $v = 1,12 \cdot 10^4 \text{ m/s}$  ga ega bo'lishi kerak. Bunday tezlikda jism Yerdan cheksiz uzoqlashishi uchun zarur bo'ladi. Jadigan ishni bajara oladigan energiyaga ega bo'ladi.

Maksvell taqsimotiga binoan, atmosfera molekullari ichida ikkinchi kosmik tezlikdan yuqori tezlikka ega bo'lgan molekullar ham bor. Binobarin, shunday molekullargina atmosferani tark etib olam fazosiga sochilishi mumkin.

Maksvell taqsimotidan bu molekullarning qancha ekanini hisoblaymiz.

Agar  $t=0^\circ\text{C}$  da  $v_c = 3,94 \cdot 10^2 \text{ m/s}$  bo'lsa, unda

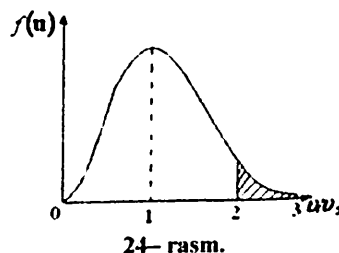
$$u = \frac{v}{v_c} = 28. \text{ Unda nisbiy tezliklari}$$

$u = 28 \div \infty$  bo'lgan molekullar miqdori shtrixlangan yuzaning kattaligicha ulushga ega. Bu naqadar kichik!

Agar Oy uchun buni hisoblasak,  $u = 6$  bo'ladi.

Bu degan so'z  $\frac{\Delta n}{n}$  - kichik. Lekin cheksiz yillar

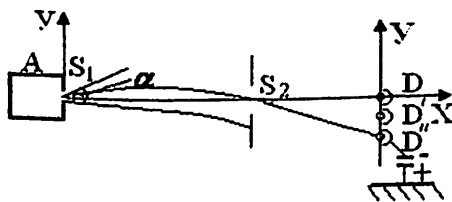
ichida Oyning atmosferasi yo'qolib ketgan deyish ham mumkin.



24- rasm.

### §19. Taqsimot qonunini eksperimental tekshirish.

Shtern tajribasida molekullarning tezliklari har xil ekanligi ko'rilgan edi. Lekin bunda taqsimotni taxminan baholash mumkin edi. Agarda metall atomlari "polosalar" hosil qiladigan nishon, metall dan emas, shaffof silliq shishadan ishlanilsa, u holda "polosalar" hosil qilgan atomlar sonini va ularning tezliklari bo'yicha taqsimlanishini hisoblash mumkin emas! Bu tajribada o'lchashlar uncha aniq emas edi.



25- rasm.

1947-yili Shtern,

Isterman va Simpson bilan birgalikda bunday tajribani nihoyatda murakkab

shaklda o'tkazdi. Bu tajribada ham molekullar dastalar metodidan foydalanildi, ularning og'irlik kuchi maydonida erkin harakati kuzatildi. Atomlar manbai sifatida  $450^\circ\text{K}$  qizdirilgan seziiy ampulasidan foydalanildi. Pechkadan seziiy atomlari kengligi  $0,02 \text{ mm}$  bo'lgan  $S_1$  tirqishdan uchib chiqadi.  $S_1$  dan  $1 \text{ m}$  narida xuddi shunday  $S_2$  tirqish o'rnatilgan. Yo'ng'onligi  $0,02 \text{ mm}$  bo'lgan  $W$  sim nishon  $S_2$  dan  $1 \text{ m}$  narida o'rnatilgan. Dastaning umumiy uzunligi  $2 \text{ m}$ . Butun qurilma yuqori vakuumli silindrga joylashgan. Sim nishon orqali elektr toki o'tkazilib, shunday qizdiriladiki, seziiyning nishonga tushayotgan atomlari darhol ionlashib, musbat ionga aylanadi. Bu ionlar shu ondayoq nishonni tark etib, simni o'rab turgan silindrga tushadi, silindrga esa atomlarning o'tishlari uchun tirqishlar qilingan. Ionlarning har bir tirqishdan o'tganlari ion toklarini hosil qiladi va bu toklarning maxsus kuchaytirgich yordamida o'lchash mumkin. U tokni bilsak,  $I = \frac{Ne}{t}$  dan  $N$  aniqlanadi.

Dastadagi seziiy atomlari  $2 \text{ m}$  masofada, Yerning tortish kuchi ta'sirida pastga og'adi va ma'lum parabola bo'yicha harakat qiladi.

Manbadan  $\alpha_0$  burchak ostida chiqqan molekullar  $S_2$  dan o'tadi.  $\alpha=0$  va  $\alpha > \alpha_0$  dagi molekullar  $S_2$  dan o'ta olmaydilar.

Bunday zarralarning harakat tenglamasi quyidagicha:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_x \cdot t \\ y &= v_y \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t = \frac{x}{v_x} \quad (2)$$

$$y = v_y \cdot t - \frac{gt^2}{2} \text{ bundan vaqtni yo'qotsak,}$$

$$y = v_y \cdot \frac{x}{v_x} - \frac{gx^2}{2v_x^2} \quad (3)$$

bu parabola tenglamasidir.

$S_2$  tirqishdan o'tgan molekullarning koordinatalari:

$$\left. \begin{aligned} y &= 0 \\ x &= \frac{L}{2} \end{aligned} \right\} \text{ bu nuqta uchun } v_y \frac{L}{2v_x} - \frac{gL^2}{8v_x^2} = 0$$

$$v_y = \frac{gL}{4v_x} \quad (4)$$

$x = L$  (5) masofadagi o'qida siljishi  $y$  bizni qiziqtiradi.

$x = L$  va  $v_x = \frac{gL}{4v_x}$  ga qo'yib, (4) va

(5) → (3) uchun

$$y = \frac{gL}{4v_x} \cdot \frac{L}{4v_x} - \frac{gL^2}{2v_x^2} = \frac{gL^2}{4v_x^2} - \frac{gL^2}{2v_x^2} = -\frac{gL^2}{4v_x^2}$$

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

Har bir  $\vartheta_x$  larga to'g'ri kelgan molekulalar soni ma'lum bo'lsa, u holda atomlarning tezliklari biror intervalda yotganlari sonini aniqlash mumkin. Bu tajriba Maksvell taqsimoti qonunini to'la tekis tasdiqladi.

## §20. Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn taqsimoti

1. Klassik taqsimotda Maksvell, Boltsman taqsimotida energiyaning sathlari uzluksiz, energiyaga chegara yo'q va zarracha har qanday energiyaga ega bo'lishi mumkin edi, ya'ni

$$1) \quad f(\vartheta) = \frac{dn}{n \cdot d\vartheta} \approx A\vartheta^2 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}}$$

aniqroq yozsak,

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \cdot v^2;$$



**Fermi Enriko** (1901 – 1954) – mashhur italiyalik fizik. Ilmiy ishlari atom va yadro fizikasi, statistik mexanika, kosmik nurlar fizikasi, yuqori energiyalar, astrofizika, texnik fizikaga bag'ishlangan. Dirakdan hexabar yarimta spinli zarrachalar statistikasini o'rganib, ularning energiya bo'yicha taqsimoti (Fermi – Dirak taqsimoti) ni yaratdi, zonalar nazariyasiga Fermi sath tushunchasini kiritdi, ko'p elektronli atomlarning asosiy harakatini hisoblash usulini chiqdi (Tomas–Fermi modeli), beta yemirilish nazariyasini yaratdi, sun'iy radioaktivlikni kashf etdi, uranni neytron bilan ta'sirlashtirib, yangi elementlarni hosil qilish g'oyasini berdi. Elementlar davriy sistemalar jadvalidagi 100-element uning nomi bilan yuritilad. U Nobel mukofotining laureati (1938).



**Dirak Pol Andriyan Moris** (1902 – 1984) – ingliz nazariyotchi fizik olimi. Ilmiy ishlari kvant mexanikasi va kvant elektrodinamikasi, maydon va elementar zarrachalari nazariyasi, gravitatsiy nazariyasiga bag'ishlangan. 1927 yilda ikkilamchi kvantlash metodikasini taklif qilib, kvant nazariyasi printsiplarini birinchi bo'lib elektromagnit maydon uchun tadbiiq etdi. Kvant maydonning birinchi modelini topdi va Shreydinger bilan kvant mexanikasini yaratdi. Fermion kabi yarim spinli zarrachalar uchun taqsimot qonuni – Fermi – Dirak taqsimotini yaratdi. Pozitronning mavjudligini ta'kidladi, so'ngra elektron – pozitron annigilyatsiyasini bashorat qildi. 1928 yilda elektron barakatlarining relyativistik nazariyasini tuzdi. 1933 yilda tabiat antimoddaning mavjudligi gipotezasini bayon qildi. 1962 yilda myuon nazariyasini ishlab chiqdi. U Nobel ukofoti laureati (1933).

2. Kvant sistemalarida: a) energiyalar uzlukli va bitta kvant holatida bitta zarracha yotadi (Pauli prinsipi); b) Energetik sathlar kvantlangan (uzlukli), ya'ni aynigan. Asosiy energetik sathga yaqin joylashgan energetik sathlar soni - aynishlar tartibi yoki soni deyiladi. Fazoning  $i$  yacheykasida  $\varepsilon_i$  energetik sathni egallash ehtimolligi

$$dn_i = n_i e^{-\frac{\varepsilon_i}{kT}}$$

2) nisbiy tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasi

$$\frac{dn}{ndu} = f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2;$$

3) impuls bo'yicha taqsimot funksiyasi  $p = mv$ ;

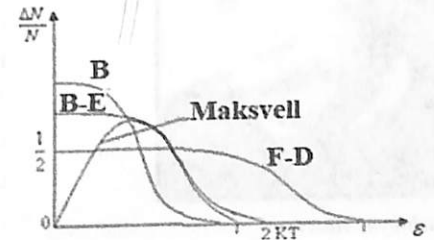
$$f(p) = \frac{dn}{n \cdot dp} = 4\pi \left( \frac{1}{\pi mkT} \right)^{3/2} e^{-\frac{p^2}{2mkT}} \cdot p^2;$$

4) energiya bo'yicha taqsimot funksiyasi  $f(\varepsilon) \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(2kT)^{3/2}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \cdot \sqrt{\varepsilon}$

va  $\varepsilon = \frac{p^2}{2m}$  edi.

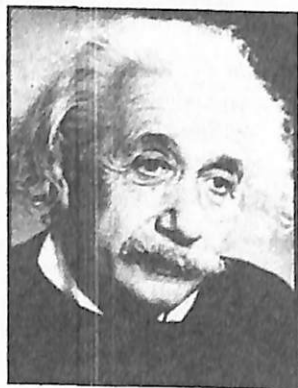
5) Boltsman taqsimoti  $f(U) = e^{-\frac{U}{kT}}$  edi.

$$f(U) = \frac{dn}{n \cdot dU} = e^{-\frac{U}{kT}}$$

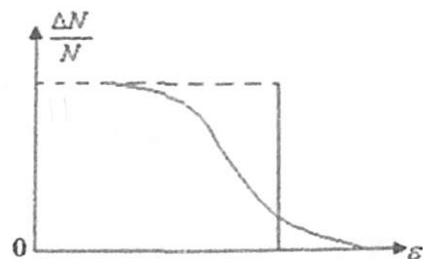




**Boze Shatendranat** (1894 – 1974) – mashhur hind fizigi. U butun spinli zarrachalarning kvant statistikasi bilan shug'ullanib, ularning energiya bo'yicha taqsimotini (Eynshteyn kabi) – Boze – Eynshteyn taqsimotini yaratdi. Bu statistikani fotonlarga tadbiiq etib, absolyut qora jisning issiqlik nurlanishi uchun Plank formulasini keltirib chiqardi.



**Eynshteyn Albert** (1879 – 1955) – nemis fizigi. nisbiylik nazariyasini vujudga keltirish, kvant azariyasi asosini taraqqiy ettirish bilan dunyoda mashhur bo'lgan olim. Massa bilan energiya orasidagi bog'lanish, fotonning mavjudligi, ostsiyator energiyaning kvantlanganligi, fizikada fotoeffekt (Eynshteyn tenglamasi), alohida atomlar tomonidan yorug'lik yutish va chiqarilishining statistik kvant nazariyasi Boze Eynshteyn taqsimoti, Broun harakatining nazariyasini yaratdi.



Agar energetik sath aynigan bo'lsa (uzlukli), Maksvell – Boltsman taqsimoti o'rinli bo'ladi.

$$dn_i = n_0 g_i e^{-\frac{\epsilon_i}{kT}} -$$

$$\int dn_i = \sum \Delta n_i = n_0 \sum g_i e^{-\frac{\epsilon_i}{kT}} = n_0$$

(normallashtirilgan).

Kvant sistemasi:

1) yarim spinli zarrachalar ( $e, n, p$ ) – fermionlar uchun Fermi – Dirak taqsimoti o'rinli.

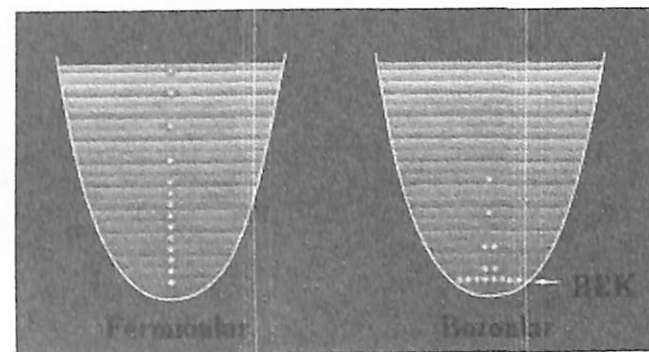
2) butun spinli zarrachalar ( $\nu, \pi, k$ ) – bozonlar uchun Boze-Eynshteyn taqsimoti o'rinli. Fermi-Dirak taqsimoti uchun Pauli prinsipi o'rinli. Boze-Eynshteyn taqsimoti uchun chegara yo'q. Har bir kvant holatida chegarasiz sonli zarrachalar bo'lishi mumkin.

$$1. \frac{\Delta n_i}{n} = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} + 1} \Delta \epsilon \text{ fermionlar uchun}$$

$$\epsilon_i = \mu \text{ da } f(E) = \frac{\Delta n}{n} = 0,5.$$

$$2. \frac{\Delta n_i}{n} = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} - 1} \Delta \epsilon \text{ bozonlar uchun.}$$

$$\text{Agar } \frac{\Delta n}{n} \ll 1 \text{ yoki } e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} \gg 1$$



bo'lsa, bu taqsimotlar Maksvell – Boltsman taqsimotiga aylanadi.

$$3. \text{Umumiy holda } f(\epsilon) = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon - \mu}{kT}} + s}$$

a)  $S = 0$ , Maksvell – Boltsman taqsimoti;

b)  $S = -1$ , Boze-Eynshteyn taqsimoti;

v)  $S = +1$ , Fermi-Dirak taqsimoti.

g)  $e^{\frac{\epsilon - \mu}{kT}} \gg 1$  klassik taqsimot, ya'ni Boltsman taqsimoti o'rinli bo'ladi.

### Bob yuzasidan nazorat savollari

1. Bosim nima?
2. Gaz bosimi deb nimaga aytiladi?
3. Paskal qonunini ta'riflang?
4. Molekulyar – kinetik nazariya va uning asoslarini ta'riflang.
5. Molekulyar– kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib chiqaring.
6. Temperaturaga ta'rif bering.
7. Boltsman formulasini keltirib chiqaring.
8. Sharl qonunini keltirib chiqaring va uni ta'riflang.
9. Bosimning temperaturaviy koeffitsiyentiga ta'rif bering.
10. Nima uchun gaz bosimi temperaturaga bog'liq?
11. Ideal gaz tushunchasi.
12. Broun harakati.
13. Dalton va Avogadro qonunlari.
14. O'rta kvadratik tezlik.
15. O'rta arifmetik tezlik.

16. Izojarayonlar.
17. Molekular-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.
18. Taqsimot haqida tushuncha.
19. Barometrik formula.
20. Maksvell taqsimoti.
21. Nisbiy tezliklar uchun Maksvell taqsimoti.
22. Fermionlar nima?
23. Fermi – Dirak taqsimotini ta’riflang.
24. Bozonlar nima?
25. Boze – Eynshten taqsimotini tariflang.

## II BOB. ISSIQLIKNING KINETIK NAZARIYASI

### §21. Ideal gazning ichki energiyasi

$$\text{Ideal gaz zarralarining o'rtacha kinetik energiyasi } \frac{m\overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (1)$$

Bu ifoda faqat ilgarilanma harakat qiluvchi nuqtaviy zarrachalar uchun o'rinlidir. Ideal gaz deganimizda, uni bir atomli gaz deb qabul qilgan edik. Agar gaz molekulasi bir necha atomli bo'lsa, u molekula aylanma, tebranma harakatlar ham qilishi mumkin va bu harakatlar bilan biror energiya bog'langan bo'lar edi. Hozircha bir atomli molekularning  $N$  tasi uchun yozamiz:

$$U = \frac{3}{2} N k T \quad (2)$$

1 mol gaz uchun  $N = N_A$ .

$$U = \frac{3}{2} N_A k T = \frac{3}{2} R T \quad (3)$$

Bu energiya 1 mol *ideal gazning ichki energiyasi* deyiladi.

Umuman, jismning ichki energiyasi deganda uning molekularining barcha energiyalarining yigindisini, ya'ni ularning "ko'rinmaydigan" energiyasiga aytiladi. Umumiy holda, jismning ichki energiyasini quyidagicha yozish mumkin:

$$U = \sum_{i=1}^N W_{k_i} + \sum_{i,j}^N W_{p_{i,j}} + \sum_{i=1}^N W_{e_i} + \sum_{i=1}^N W_{y_i} \quad (4),$$

Lekin biz qarayotgan hollarda, gaz butunlay biror maydonda bo'lsa ham, ularni potensial energiyalari kirmaydi va uning ichki energiyasini asosan gaz molekulari ilgarilanma harakati belgilaydi:

bu yerda  $W_{k_i}$  – molekularning kinetik energiyasi,

$W_{p_i}$  – molekularning potensial energiyasi,

$W_{e_i}$  – elektronlarning energiyasi,

$W_{y_i}$  – molekula yadrolarining energiyasi.

Ideal gazning ichki energiyasi asosan molekularning ilgarilanma harakat energiyasidan iborat:

$$U \approx \sum W_{k_i} = \frac{3}{2} N k T \quad (5)$$

Demak, ideal gazning ichki energiyasi  $\sim T$  ga bog'liq, bosim  $P$ , hajm  $V$  ga bog'liq emas! Bu formuladan ko'rinib turibdiki, biror ideal gazning ichki energiyasini o'zgartirish uchun uning temperaturasi o'zgartirish kerak, temperatura o'zgarishi uchun ichki energiyani o'zgartirish kerak. Energiyaning saqlanish qonunidan  $\Delta U = A$  ga teng. Demak, gazning temperaturasi oshirish uchun ish bajarish kerak, gazning temperaturasi kamaytirish uchun gaz ish bajarishi kerak. Ana shuni isbot qilamiz.

### §22. Issiqlik miqdori

Agar temperaturalar har xil bo'lgan jismlarni bir-biriga tegizsak, bir jism soviydi, ikkinchisi isiydi:

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

Biz ko'rgan  $U = \frac{3}{2} NkT$  formuladan gaz temperaturasi o'zgarishi energiya o'zgarishi bilan bog'liq ekan. Agar temperaturaning o'zgarishi ish bajarishi hisobiga bo'lsa, unda ishning o'zi ichki energiyani o'zgarishiga teng edi, ya'ni

$$A = \Delta U.$$

Agar kontakt yoki nurlanish orqali energiya o'zgartirilganda, ish bajarilmaydi. Bu holda ichki energiya moddaning tezligi katta bo'lgan molekullari bo'lib, kam bo'lgan molekullariga to'qnashishi natijasida o'z energiyasining bir qismini beradi. Bunday jarayon *issiqlik uzatish* jarayoni deyiladi. Ta'rif: bir-biriga tegib turgan jismlarning molekullarini ish bajarmasdan ichki energiya almashishi jarayoniga *issiqlik uzatish* deyiladi.

Demak, *issiqlik miqdori* – bir jismning ikkinchi jismga bevosita tekkanida yoki nurlanish yo'li bilan uzatiladigan energiyadir.

### §23. Issiqlikning mexanik ekvivalenti

Issiqlik miqdori bilan ish (energiya) orasida energiya nuqtayi nazaridan hech qanday farq yo'q. Shuning uchun ular bir xil birliklarda o'lchanadi. SI da issiqlik miqdori birligi qilib  $[Q] = 1J$  qabul qilingan. Tarixan issiqlik miqdorini o'lchash uchun *kal* va *kcal* birliklari qabul qilinib, ishlatilib kelinadi. Issiqlik ma'lum suyuqlikka o'xshash ko'inishda bo'lib, bir jismdan ikkinchisiga oqib o'tadi degan gipotezada *kaloriya* qabul qilingan. Lekin, molekulyar-kinetik nazariya yaratilgandan so'ng, energiya va issiqlik miqdorining ekvivalenti aniq bo'lgandan so'ng, u o'zining fizik ma'nosini yo'qotdi (*kal!*).

O'tgan XIX asrning 50-yillaridayoq bu ekvivalentni Joul aniqladi:

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

$$1 \text{ kkal} = 1000 \text{ kal}.$$

$$1 \text{ kal} = 4,1868 J \approx 4,2 J.$$

Mexanikaviy ish birligining issiqlik miqdori birligiga nisbatini ko'rsatadigan son *issiqlikning mexanikaviy ekvivalenti* deb ataladi.  $1 = 4,1868 J/\text{kal}$  yoki  $4186,6 J/\text{kkal}$ . Bu kattalikka teskari bo'lgan kattalik *mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti* deb ataladi:

$l' = \frac{1}{l} = 0,239 \text{ kal}/J \approx 0,24 \text{ kal}/J$ . Demak,  $l'$  – 1 Joul mexanik ish bajarishga sarf qilinadigan issiqlik miqdori ekan.

Keyingi hisoblarda mana shu kattaliklarni hisobga olib, issiqlik miqdori va ish yoki energiya bir xil birliklarda o'lchanadi.

### §24. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni

Har qanday sistemada jism holatining o'zgarishi, sistemaning ish bajarishi yoki tashqi kuchlarning shu sistema ustida ish bajarishi bilan bog'liq bo'lib, jismning holatini bosim  $P$ , hajm  $V$ , temperatura  $T$  xarakterlaydi. Agar bulardan biri o'zgarsa, unda termodinamik ish bajarilishi kerak. Masalan, gaz temperaturasi o'zgarishi shu gazning bajarilishi bilan bog'liq. Agar gaz siqilsa qiziydi, kengaysa soviydi va uning temperaturasi o'zgarishi hisobiga ish bajariladi. Yuqorida ko'rilgandek, gazning (jismning) holatini unga biror miqdorda issiqlik miqdori berib yoki undan olib o'zgartirish mumkin. Bu holatning

o'zgarishi energiya saqlanish qonuniga bo'ysunadi. Agar gazga  $dQ$  issiqlik bersak,  $dA$  ish bajariladi va uning ichki energiyasi  $dU$  ga o'zgaradi.

Energiya saqlanish qonuniga asosan, sistemaning bajargan ishi sistemaga berilgan issiqlik miqdori bilan uning ichki energiyasining o'zgarishi orasidagi farqqa teng:

$$dA = dQ - dU$$

yoki

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

Bu qonun mexanikaviy va issiqlik energiyaga nisbatan energiyaning saqlanish qonuni bildiradi. Bu qonun *termodinamikaning I-bosh qonuni* deyiladi.

**Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish.** Gazning kengayishi yoki siqilishidagi bajargan ishini hajmga bog'liqligini aniqlaymiz.

$dA = F \cdot dS$  edi.

$$dA = F \cdot dx = P \cdot S \cdot dx = P \cdot dV.$$

Agar gaz siqilayotgan bo'lsa,  $S \cdot dx = -dV$ .  $V$ -kamayadi.

$$dV = -S \cdot dx, \quad dV < 0.$$

$$dA = -PdV$$

Gaz kengayganda  $dA = +PdV$

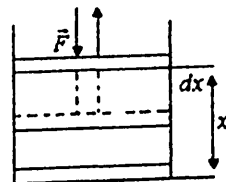
Bunda gaz tashqi kuchlarga qarshi ish bajaradi. Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish  $A$ , gazning o'zi turgan bosimning uning hajm o'zgarishiga ko'paytirilganiga teng, ya'ni

$$\Delta A = P\Delta V \quad (3')$$

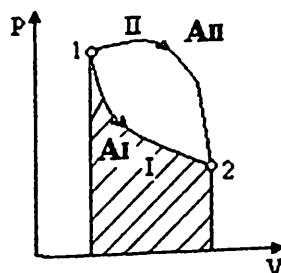
Agar gazning holati o'zgarganda, tashqi ish uning hajm o'zgarishi hisobiga bajarilsa, u holda termodinamikaning I qonuni quyidagicha yoziladi:

$$dQ = dU + PdV \quad (4)$$

Agar magnetik, elektrik ishlar bajarilsa, tenglamaning o'ng tomoniga  $A$ , kiritiladi. Bunda ular o'zgaradi! Holat parametrlari chekli o'zgarganda, tashqi ishni hisoblash mumkin.



28- rasm.



29- rasm.

(2)  
(3)

$$dA = PdV, \quad A = \int PdV \quad (5)$$

Bu esa, shtrixlangan yuzaga teng (29-rasm). Endi birinchidan ikkinchi holatga II egri chiziq orqali o'tsin. Bu holdagi ish  $A_{II} = \int PdV$

(5')

Bu holda  $A_I \neq A_{II}$ .

Gazning hajmi o'zgarganda gaz bajargan tashqi ish (yoki uning ustida bajarilgan ish) gazning boshlang'ich holatidan oxirgi holatiga o'tishida bosib o'tgan oraliq holatlari tartibiga (ketma-ketliklar) bog'liq bo'ladi. Ichki energiya esa faqat gazning holatiga bog'liq bo'ladi va gazning bosib o'tgan oraliq holatlarga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun

$$\int dQ = U_1 - U_2 + \int PdV \quad (6)$$

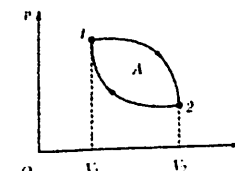
Agar, xususiyl holda, modda (sistema) o'zining avvalga holatiga qaytsa, ya'ni unda  $U_1 = U_2$  bo'ladi, u holda holat o'zgarishi jarayoni *aylanma* yoki *siklik* deb gapiriladi. Bunday jarayon grafik ravishda berk egri chiziq bilan, bajarilgan ish uning shtrixlangan yuzasi bilan aniqlanadi. Siklik jarayonda bajarilgan ish

$$A = \oint PdV \quad (7')$$

va  $Q = A$  (7) bo'ladi (30-rasm).

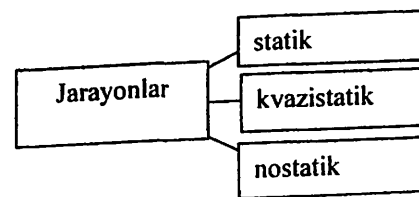
Agar tashqi kuchlarga qarshi ish bajarsa, tashqaridan issiqlik oladi va aksincha.

Agar aylanma jarayonda  $T = const$  bo'lsa, jism hech qanday musbat ish bajarmaydi. Izotermik jarayonda aylanma jarayon bo'lmaydi, chunki  $1 \rightarrow 2$  va  $2 \rightarrow 1$  bitta izoterma chizig'i bo'ylab yo'naladi va unda  $\Delta S = 0$ ,  $A = 0$  bo'ladi.



30- rasm.

**Kvazistatik jarayonlar.** Biz qaragan jarayonlarda gazning bosimi ularning har bir nuqtasida bir xil dedik. Lekin gaz kengayishi, yoki siqilishi tez ro'y bersa, gazning barcha qismlarida bosim tenglashishga ulgura



olmaydi. Buning natijasida bosimlar farqi taʼsirida molekullarning oqimi, uyurmali oqimlari paydo boʻladi. Bu holatlarning paydo boʻlishi va yoʻqolishi uchun ish bajarilishi kerak!

Bundan tashqari gaz hajmlarining har xil sohalarida uning temperaturasi va zichligi ham har xil boʻlishi mumkin. Demak, gazning hajmi tez oʻzgaradi, gaz muvozanat holatida boʻla olmaydi. Gaz muvozanatda boʻlishi uchun oʻzgarish asta-sekin boʻlishi kerakki, unda muvozanat holatidan chetga chiqishlar yoʻqolishga ulguradi, gaz biri ikkinchisiga oʻtuvchi qator holatlardan oʻtadi, jarayon kvazistatik boʻladi.

### §25. Ideal gazning issiqlik sigʻimi

Ideal gazni isitish uchun unga berilgan issiqlik miqdori, yoki uning sovutishda olinadigan issiqlik miqdori gazning ish bajarishi va gazning hajmining oʻzgarishiga bogʻliq boʻladi.

1) Agar gazning hajmi  $V = const$  boʻlsa, unda issiqlik miqdori  $dQ$  ning hammasi gazning ichki energiyasini oʻzgartirishga ketadi:



Fon Mayer Yulis Robert (1814 – 1878) – nemis medigi.

Tabiatning asosiy qonunlaridan biri – energiyaning saqlanish qonunini birinchi boʻlib (1841) ochdi, nazariy issiqlikning mexanik ekvivalentini aniqladi. Shuningdek, bosim oʻzgarmagandagi molyar issiqlik sigʻimi  $C_p$  va hajm oʻzgarmagandagi molyar issiqlik sigʻimi  $C_v$  larning ayirmasi barcha gazlar uchun bir xil:  $C_p - C_v = R$  boʻlishini koʻrsatdi.

$dQ \sim m$ ,  $\sim T$ , yaʼni gaz miqdori va temperaturani oʻzgarishiga proporsional oshib boradi.

Jism temperaturasini  $1^\circ K$  ga oʻzgartirish uchun unga berish yoki undan olish kerak boʻlgan issiqlik miqdori jismning *issiqlik sigʻimi* deyiladi:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Modda massasining birligiga toʻgʻri keluvchi issiqlik sigʻimi solishtirma issiqlik sigʻimi deyiladi, yaʼni

$$c = \frac{C}{m}, \quad \text{yoki} \quad c = \frac{\Delta Q}{\Delta m \Delta t} \quad (2)$$

Moddaning bir moliga toʻgʻri kelgan issiqlik sigʻimi *molyar issiqlik sigʻimi* deyiladi:

$$C_\mu = \frac{C}{\nu}$$

Sistemaning solishtirma issiqlik sigʻimi bilan molyar issiqlik sigʻimi orasidagi bogʻlanish:

$$c = \frac{C_\mu}{\mu} \quad (4)$$

Bu yerda  $\mu$  – modda molyar massasi.

Agar moddaning 1 moli  $1^\circ K$  ga emas,  $dT$  ga isitilsa, buning uchun sarf boʻlgan issiqlik miqdori

$$dQ = C dT$$

bundan

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (5)$$

Agar isitish  $V = const$  sharoitda amalga oshsa, oʻzgarmas hajmdagi issiqlik sigʻimi yoki izoxorik issiqlik sigʻimi

$$C_v = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_v \quad (6)$$

Bunda issiqlik faqat ichki energiyaning oʻzgarishiga ketadi, yaʼni

$$dQ = dU, \quad C_v = \left( \frac{dU}{dT} \right)_v \quad (7)$$

Bunda

$$C_p = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p$$

boʻlsa,

$$dQ = dU + dA = dU + PdV = C_v dT + PdV$$

$$dQ = C_p dT + PdV \quad (8)$$

Binobarin, jismga berilayotgan issiqlik miqdori temperaturaning o'zgarishiga (ichki energiyaning o'zgarishiga) va  $dV$  hajmning o'zgarishiga (tashqi mexanik ish bajarishiga) sarf bo'ladi.

Agar isitishda bosim o'zgarmas bo'lsa, u holda issiqlik sig'imi o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi  $C_p$  deyiladi (izobarik issiqlik sig'imi):

$$C_p = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p \quad (9)$$

Va  $C_p \cdot dT = C_v \cdot dT + PdU$  yoki  $C_p = C_v + P \frac{dV}{dT}$ . Holat tenglamasidan

$P \cdot \frac{dV}{dT} = R$  (10) bo'lgani uchun  $C_p = C_v + R$  (11) yoki  $C_p - C_v = R$  (12) -

Mayer formulasi deyiladi. Gazlarning kinetik nazariyalaridan foydalanib, ideal gazning molyar issiqlik sig'imini hisoblash mumkin.

### §26. Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi.

Bir atomli ideal gaz uchun  $U = \frac{3}{2}RT$  edi. (1)

Binobarin,  $C_v = \frac{3}{2}R$  (2)

Agar, molyar massa issiqlik sig'imini  $N_A$  ga bo'lsak, unda gazning issiqlik sig'imiga har bir molekulaning qo'shadigan hissasini topamiz:

$$\frac{\frac{3}{2}R}{N_A} = \frac{3}{2}k$$

Binobarin, temperatura  $1^0K$  oshganda, har bir molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi  $\frac{3}{2}k$  Joulga ortadi.

Ideal gazning o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi  $C_p$ , o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi  $C_v$  dan gazning  $1^0K$  isiganda 1 mol gazning bajargan ishi kattaligicha ortiq bo'ladi:

$$\begin{aligned} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p &= C_v + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \\ C_p &= C_v + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_p = \frac{3}{2}R + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \end{aligned} \quad (3)$$

1 mol gaz uchun  $PV = RT$

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

Shuning uchun  $C_p = C_v + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$  (4)

hamda  $C_p - C_v = R$  (5)

Bu Mayer formulasi deyiladi.

Universal gaz doimiysi  $- R$ , son jihatdan 1 mol ideal gazni  $1^0K$  isitganda kengayishda bajargan ishiga teng:

$$R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot K \approx 2 \text{ kal/mol} \cdot K.$$

Bir atomli gazlar uchun  $C_v = \frac{3}{2}R = 12,47 \text{ J/mol} \cdot K \approx 3 \text{ kal/mol} \cdot K$  va

$$C_p = \frac{5}{2}R = 20,78 \text{ J/mol} \cdot K \approx 5 \text{ kal/mol} \cdot K$$

$$R = 1,888 \text{ J/mol} \cdot K \approx 2 \text{ kal/mol} \cdot K \text{ va}$$

$$C_p - C_v = R \approx 2 \text{ kal/mol} \cdot K \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \approx 1,66 \quad (7)$$

Bulardan

Tajribada bu natijalar inert gazlar uchun ancha yuqori aniqlikda bajariladi.

**Issiqlik funksiyasi.** Agar gazga bosim o'zgarmaydigan qilib issiqlik miqdori berilsa, u holda termodinamikaning I qonuni

$$dQ = dU + PdV \text{ yoki}$$

$$(dQ)_p = d(U + PV) \quad (8)$$

Agar  $P = const$  bo'lsa,  $d(U + PV) = dU + PdV$

$I = U + PV$  - issiqlik funksiyasi yoki entalpiya deb ataladi.

Texnikada esa bu kattalik issiqlik saqlami deb yuritiladi.

$P = const$  bo'lganda

$$\left( \frac{dQ}{dT} \right)_p = C_p = \frac{dI}{dT} \quad (9)$$

Bir atomli ideal gaz uchun  $I = U + PV = \frac{3}{2}RT + RT = \frac{5}{2}RT$ .

Binobarin  $C_p = \frac{5}{2}R$ .

Real gazlardagina issiqlik funksiyasi  $I \sim V$  hajmga bog'liq bo'ladi.

## §27. Gazlarning issiqlik sig'imi va molekullarning erkinlik darajasi

Bir atomli ideal gazlar uchun issiqlik sig'imini ko'rdik va bu inert gazlar uchun ancha aniq qiymatlarni berar ekan.

Molekulalar moddiy nuqta shaklidaga bitta atomdan iborat desak, uning ilgariharakat kinetik energiyasi

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{m\bar{v}_x^2}{2} + \frac{m\bar{v}_y^2}{2} + \frac{m\bar{v}_z^2}{2}$$

Bu yerda  $v_x, v_y, v_z, \bar{v}$  ning koordinatalar bo'yicha tashkil etuvchilari.

Har uch,  $x, y, z$  yo'nalishlardagi o'rtacha energiyalari teng edi va

$$\frac{m\bar{v}_x^2}{2} = \frac{m\bar{v}_y^2}{2} = \frac{m\bar{v}_z^2}{2} = \frac{1}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2} \quad (10)$$

Kinetik nazariyaning asosiy tenglamasiga muvofiq

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Har bir energiyaning hadi (10) ga binoan  $\frac{1}{2} kT$  ga teng.

Demak, zarraning kinetik energiyasi uchta mustaqil tashkil etuvchilari, uchta mustaqil koordinatalar yo'nalishlari bo'yicha deb qaraladi (31 - rasm).

Mexanikaviy sistemaning *erkinlik darajalari soni* deb, sistemaning fazodagi harakati, vaziyati va konfiguratsiyasini belgilovchi mustaqil koordinatalar soniga aytiladi.

Demak, issiqlik muvozanati sharoitida molekullarning har bir erkinlik darajasiga  $\frac{1}{2} kT$  energiya to'g'ri kelar ekan.

## §28. Ikki atomli va ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imlari

Bir atomli bo'lmagan gazlarning issiqlik sig'imlari bir atomli gazlar molyar issiqlik sig'imidan katta ekan.

Ikki atomli gazlar uchun amalda (tajribalarga asosan)  $\frac{C_p}{R} = 2,4 - 2,51$  va  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} \approx 1,40 - 1,41$  qiymatlarda ekan.

Uch atomli gazlar uchun  $\frac{C_p}{R} = 3,02 \div 3,4$  va  $\gamma = 1,31 \div 1,36$  ekan.

Demak  $\frac{C_p}{R}$  har xil, lekin  $\frac{C_p - C_v}{R}$  deyarli bir xil ekan, ya'ni  $C_p - C_v = R$  ekan.

Boshqacha aytganda,  $R$  - molekuladagi atomlar soniga bog'liq bo'lmay, molyar issiqlik sig'imlarining farqi shak-shubhasiz  $R$  ga teng va har qanday ideal gazning 1 moli  $P = const$  sharoitida  $1^0K$  ortganda kengayib, birday, ya'ni  $R$  ga teng ish bajaradi.

Aytilganlardan ikki atomli gazlarning issiqlik sig'imlari uchun

$$C_v = \frac{5}{2} R = 20,8 J / mol \cdot K \approx 5 kal / mol \cdot K$$

va

$$C_p = \frac{5}{2} R + R = 29,1 J / mol \cdot K \approx 7 kal / mol \cdot K$$

hamda bulardan  $\frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} \approx 1,4$  deb yozish

mumkin.

Uch yoki undan ortiq atom bo'lgan gazlarning issiqlik sig'imlar (yuqorida qayd etilgan natijalardan)

$$C_v = 3R = 24,9 J / mol \cdot K \approx 6 kal / mol \cdot K$$

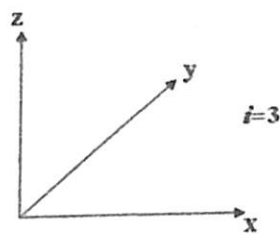
$$C_p = 3R + R = 4R = 33,3 J / mol \cdot K \approx 8 kal / mol \cdot K$$

hamda  $\frac{C_p}{C_v} = \frac{8}{6} \approx 1,38$  deb yozish

mumkin. Issiqlik haqida keltirilgan bu ma'lumotlar normal sharoitlar uchun o'rinlidir. Shu sharoitlarda gaz ideal



*Dyulong Per Lui* (1785 - 1838) - fransuz fizigi va kimyogari. Fizika sohasidagi ishi issiqlikka bag'ishlangan. 1819-yilda A. Pti hamkorligida oddiy jismlarning kristall holatlarida ularning solishtirma issiqlik sig'imlarini atom massalariga bo'lgan ko'paytmasi o'zgarmligini (Dyulong va Pti qonuni) aniqladi. 1830-yilda suv kalorimetrini ixtiro qildi. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishini o'rgandi, katetometrni kashf etdi. Qator moddalarning solishtirma yonish issiqligini aniqladi.



31 - rasm

gazlardan kam farq qiladi. Bu taqsimot teng taqsimot qonuniga javob beradi.

**Teng taqsimot qonuni va ko'p atomli gazning issiqlik sig'imi.** Bir atomli molekullarning har biri erkinlik darajasiga  $\frac{1}{2}kT$  energiya to'g'ri kelishi avvalgi mavzuda isbotlangan edi. Klassik statistik fizikadan Boltsman teoremasi: Agar molekullar sistemasi  $T$  temperaturada issiqlik muvozanatida bo'lsa, u holda molekullar o'rtacha kinetik energiyasi barcha erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanadi va molekullarning har bir erkinlik darajasi uchun bu energiya  $\frac{1}{2}kT$  ga teng.

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

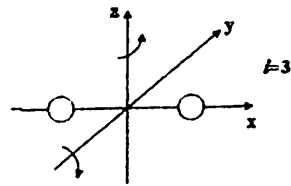
Bir atomli gazlarda erkinlik darajasi 3 ga teng, ya'ni molekula  $x$ ,  $u$ ,  $z$  o'qlar bo'yicha ilgarilanma harakat qiladi.

Ikki atomli gazlarda 3 yo'nalish bo'yicha ilgarilanma harakat va 2 ta o'q bo'yicha aylanma harakati hisobga olinsa, erkinlik darajasi 5 ga teng bo'ladi. Chizmadagi misolda  $x$  bo'yicha aylanma harakat hisobga olinmaydi. Shuning uchun  $i=3+2=5$ . Biroq molekullar bir-biri bilan qattiq mustahkam bog'lanmagan va ular o'zaro tebranma harakatda bo'lishi mumkin. Bu hol uchun umumiy yoki bitta harakat koordinatasini hisobga olish kerak. Bunda  $i=6$  bo'lishi kerak edi, lekin amalda  $i=5$  ga teng.

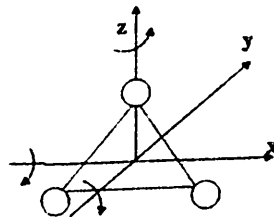
Uch atomli gazlarda ilgarilanma harakat uchun  $i_{ilg}=3$  va aylanma harakat uchun  $i_{ayl}=3$ , ya'ni erkinlik darajasi  $i=6$  ga teng ekan.

Agar molekula qattiq bog'lanmagan  $n$ -ta molekullardan iborat bo'lsa, bu molekula  $3n$  ta erkinlik darajaga ega bo'ladi. Bulardan uchtasi ilgarilanma, uchtasi aylanma, qolganlari tebranma harakat darajalari bo'ladi.

Agar atomlar bir to'g'ri chiziq bo'yicha joylashgan bo'lsa, aylanma erkinlik darajalari



32 a - rasm



32 b - rasm

ikkita bo'ladi, ya'ni ikki atomli molekullar kabi bo'ladi.

Misol uchun, uch atomli molekulaning o'rtacha kinetik energiyasi (32-rasm). Bir to'g'ri chiziqda joylashmagan  $n$  atomli molekula  $3n-6$  tebranma erkinlik darajasiga hamda bir to'g'ri chiziqda joylashgan  $n$  atomli molekula  $3n-5$  erkinlik darajaga ega.

Ko'p hollarda tebranma harakat mutlaqo vujudga kelmaydi. Kelsa ham, ularning amplitudasi juda kichik. Bu holdagi tebranishlarni **garmonik tebranishlar** deyish mumkin. Bu holda atomlar garmonik tebranma harakat qiladi va ular **garmonik ossilyatorlar** deyiladi. Biroq ossilyator kinetik ham, potensial energiyaga ega va ularning qiymatlari o'zaro teng. Agar garmonik tebranishda bo'lgan atomlar uchun uning har bir erkinlik darajasiga bitta  $\frac{1}{2}kT$  kinetik energiya va  $\frac{1}{2}kT$  potensial energiya to'g'ri keladi. Demak, har bir tebranish erkinlik darajasiga  $\frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT = kT$  energiya to'g'ri keladi.

Ko'p atomli gaz molekullarining issiqlik sig'imi  $C_v = \frac{i}{2}R$ , chunki 1 mol gaz uchun ichki energiyasi  $U = \frac{i}{2}RT$ .

$$C_p = C_v + R = \left(\frac{i}{2} + 1\right)R.$$

Agar tebranma harakat erkinlik darajalarini hisobga olsak, unda  $i$  ni hisoblashda erkinlik darajalarini ikki karra orttirish kerak.

Bu nazariya bir atomli va ikki atomli molekullarda tebranish vujudga kelmaydi deb hisoblasak, u holda yuqoridagi taqsimot tasdiqlanadi. Lekin ko'p atomli (uch yoki to'rt atomli) molekullar va xlor uchun tajribada tasdiqlandi. Masalan,  $Cl_2$  uchun  $C_p = 3,02R$ .

Ikki atomli molekullarda umumiy  $i=5$ ,  $C_p = \frac{5}{2}R$  bo'lishi kerak.

Agar atomlarning tebranma harakatini olsak,  $i=7$ ,  $C_p = \frac{7}{2}R$  bo'lishi kerak.

holbuki amalda  $C_p = \frac{5}{2}R$  ga teng!!!

Bundan ko,rinadiki, bizning nazariyamizning teng taqsimot qonunini hamma vaqt ham qo,llab bo,lmaz ekan va bu nazariya molekullarning ichki harakatlarini etarli darajada nazarga olishga qodir emas ekan.

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R$$

$T$  temperaturaga bog,liq bo,lishi shart emas. Holbuki

amalda  $T \leftarrow$  bilan  $C_V \leftarrow$  kamayadi. Agar, temperatura kamayishi bilan biror harakat to,xtaydi desak, unda  $C_V \sim (T)$  bog,lanish sakrab o,zgarishi kerak edi? Lekin  $C_V(T)$  bog,lanish monoton bog,lanishdir. Ammo unda bu harakatlarning intensivligi  $T \leftarrow$  bilan (sekinlashib) kamayib borishi mumkin. Lekin buni teng taqsimot qonuni farq qila olmaydi. Demak, energiyaning erkinlik darajalari bo,yicha teng taqsimot qonuni tamomila to,g,ri deyish mumkin emas va uning qo,llanilishi cheklangandir.



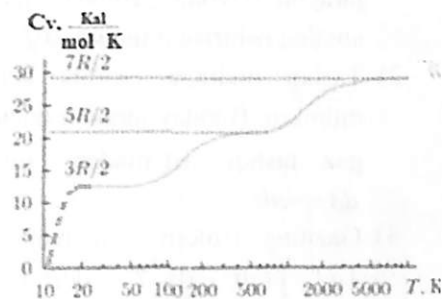
**Pti Aleksis Terez (1791 – 1820) –** fransuz fizigi. Dyulong bilan hamkorlikda issiqlik sig'imi nazariyasini yaratdi, qattiq jismlarning hajmi o'zgarimandagi molyar issiqlik sig'imi  $C_V = 3R$  bo'lib, uning doimiyligi ko'rsatgan. Qizigan jismning sovush tezligi qonuniyatini o'rgandi, qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishini o'rgandi.

**Vodorodning issiqlik sig'imi.** Agar  $T \geq 300^\circ K$  da  $C_V = \frac{5}{2} R = 5 \text{ kal/mol} \cdot K$  bo,lsa,  $T \leq 50^\circ K$  da  $C_V = 3 \text{ kal/mol} \cdot K$  bo,lib qoladi. Demak,  $i=3$ , bir atomli deb qarash mumkinmi? Bunda  $C_V(T)$  ning amalda monoton o,zgarishiga asosan, ba'zi bir molekullar  $T \leftarrow$  bilan o,zining aylanma harakatini to,xtatadi desak, unda nega boshqalari to,xtatmaydi?

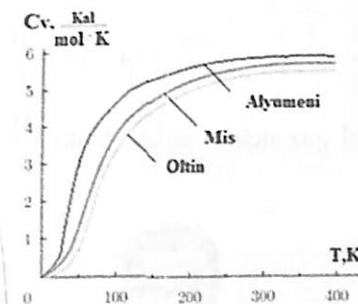
Buni kvant mexanika nazariyasi tushuntirib beradi. Bunga sabab  $T \rightarrow 100K$  da harakat miqdori momentlari parallel ( $\uparrow\uparrow$ ) ortovodorod va harakat miqdori momenti  $\downarrow\downarrow$  yo,nalgan parovodorod molekulari hosil

qilar ekan va  $T = 300^\circ K$  da 25% parovodorod hamda 75% ortovodorod bo,lar ekan. Temperatura pasayishi bilan parovodorodning miqdori monoton oshar ekan va  $C_V$  monoton kamayar ekan.

$T \leq 50^\circ K$  larda aylanma harakatga to,g,ri kelgan issiqlik sig'imlari ortovodorod uchun ham, parovodorod uchun ham 0 ga aylana ekan. Shuning uchun  $H_2$  ning issiqlik sig'imi  $T \leq 50^\circ K$  da xuddi bir atomli molekulaning issiqlik sig'imiga teng bo,lib qolar ekan. Demak, issiqlik sig'imi temperaturaga bog,liq bo,lib, bu molekula ichidagi harakatga va temperaturani, ayniqsa  $0^\circ K$  ga yaqin juda murakkab bog,liq bo,lar ekan. Qattiq jismlar uchun  $T \geq 200^\circ K$  larda molyar issiqlik sig'imi temperaturaga bog,liq bo,lmazdan,  $C_V = 3R = \text{const}$  shart bajariladi, ya'ni Dyulong-Pti qonuni o,rinli bo,ladi.



33 – rasm



34-rasm

### §29. Gaz hajmi o'zgaranda uning holatini o'zgarishi va unda bajarilgan ish

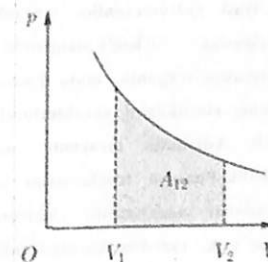
Termodinamikaning I-qonuniga asosan (energiyaning saqlanish qonuni)

$$dQ = C_V dT + PdV \text{ edi.}$$

Avval bu tenglamani energetik nuqtayi nazardan qaragan edik. Endi  $T$  o,zgarishi bilan gazning kengayishi va siqilishiga, ya'ni gaz holatini o,zgarishini ko,raylik.

Bu jarayon turli sharoitlarda bo,lishi mumkin.

- 1) Gazning siqilishi va kengayishini  $T = \text{const}$  holda amalga oshirish mumkin. Bunday jarayon izotermik



35 – rasm

jarayon deyiladi. Bunday jarayonni amalda termostat yordamida amalga oshirish mumkin.  $dQ = dA = PdV, dU = 0$ .

2) Tashqi muhitga issiqlik bermasdan uning hajmini o'zgartirish mumkin. Bunday jarayon adiabatik jarayon deyiladi.  $dQ = 0$ . Bunda gaz tashqi sistemadan izolyatsiya qilingan bo'ladi. U holda  $dA = -dU$ .

3) Gazning izotermik jarayonda, hajmi o'zgarishida bajarilgan ishi  $dA = PdV$  edi.  $T = const$  bo'lganda  $P \sim V$ , Boyle-Mariott qonuniga

asosan 1 mol gaz uchun  $PV = RT = const$ .  $P = \frac{RT}{V}$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} = RT \ln \left| \frac{V_2}{V_1} \right| = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

1 mol gaz uchun emas, balki  $\frac{M}{\mu}$  mol gaz uchun  $A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$  bo'ladi.



**Puasson Simeon Deni** (1781 – 1840) – fransuz mexanigi va fizigi, uning fizikaga bag'ishlangan ishlari: elektr, magnetizm, kapillyarlik, elastiklik nazariyasi, gidromexanika, tebranish va yorug'lik nazariyasiga bag'ishlangandir. Elastiklik nazariyasini o'rganib, unda Puasson koeffitsient-jismning elastikligini xarakterlovchi koeffitsiyentni kiritdi. Adiabatik jarayonni nazariy o'rganib, adiabatik-Puasson tenglamasini keltirib chiqardi. Potensiallar nazariyasini elektrostatik maydonga ta'dbiq etib, maydon kuchlanganligi bilan zaryad zichligining bog'lanish tenglamasini yaratdi

Hajmning o'zgarishi bosimni ham o'zgartiradi, ya'ni

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad \text{bunda} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$$

Bunda bajarilgan ish 35-rasmda ko'rsatilgan yuzaga son jihatidab teng bo'ladi.

4) Izobarik jarayonda bajarilgan ish:  $A = P(V_2 - V_1)$ ,

chunki  $A = \int_{V_1}^{V_2} PdV$

### §30. Ideal gaz holatining adiabatik o'zgarishi

Adiabatik jarayonda gaz atrofidagi jismlarga issiqlik bermaydi ham, olmaydi ham.

Demak,  $dQ = 0$ .

U holda termodinamikaning I - qonuni

$dQ = C_V dT + PdV$ ,  $C_V dT + PdV = 0$  ko'rinishga keladi.

$PV = RT$  tenglamani diferensiallab, undan  $dT$  ni aniqlab, oldingi

ifodadaga  $dT = \frac{PdV + VdP}{R}$  ni qo'ysak,  $C_V \frac{PdV + VdP}{R} + PdV = 0$  yoki

$$(C_V + R)PdV + C_V VdP = 0$$

$C_V + R = C_P$  ekanligidan  $C_P PdV + C_V VdP = 0$

bo'ladi.

$$C_V VdP + C_P PdV = 0 \times \left| \frac{1}{C_V VP} \right| \quad \text{va} \quad \frac{C_P}{C_V} = \gamma$$

ekanligini hisobga olsak,  $\int \frac{dP}{P} + \gamma \int \frac{dV}{V} = 0$

Tenglamani integrallab  $\ln P + \gamma \ln V = const$

yoki  $PV^\gamma = const$  ko'rinishga keladi va bu tenglama Puasson tenglamasi deyiladi.  $\gamma$

adiabata ko'rsatkichi deb ataladi.

$PdV + C_V dT = 0$  va  $PdV = -C_V \cdot dT$  tenglamadagi (-) minus ishora gaz hajmi ortishi bilan uning temperaturasi kamayishini, gaz hajmining kamayishi bilan uning temperaturasini ko'tarilishi bildiradi, ya'ni

$$V \rightarrow T \leftarrow A > 0 \quad \text{va} \quad V \leftarrow T \rightarrow A < 0$$

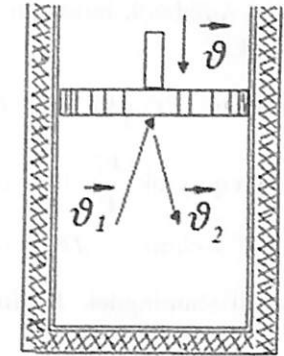
1-holda ish gazning xususiy ichki energiyasi hisobiga bajariladi, shuning uchun gaz temperaturasi kamayadi;

2-holda esa, tashqi kuch hisobiga ish bajariladi, ana shu ish hisobiga gazning ichki energiyasi ortadi.

Temperatura bunday o'zgarishining "kinetik" manzarasini oson tasavvur qilish mumkin.

Porshen  $u$  tezlik bilan gazni siqayotgan bo'lsa, unga nisbatan to'qnashayotgan gaz massasining tezligi  $v$  bo'ladi. Agar bosimni tashkil qiluvchi molekullar to'qnashishi elastik bo'lmay, devordan olgan impulsni  $F \cdot \Delta t = 2mv$  o'rniga  $F \cdot \Delta t = m(v+u) - m[-(v+u)] = 2m(v+u)$  bo'ladi.

Bu esa molekullarning o'rtacha tezligini ham, temperaturasini ham ortishiga olib keladi. Aksincha, porshen yuqoriga harakat qilib, gaz kengayganda, temperaturaning kamayishi ro'y beradi.



36 - rasm

Demak,  $P \sim V$  bogʻlanish giperbola boʻlmasligi mumkin.  $\gamma$  esa birdan katta.  $\gamma > 1$  boʻlgani uchun adaabatik jarayonda  $P = f(V)$  egri chiziq adiabatga egri chiziq, deb ataladi va u izotermadan tikroq boʻladi. Bunga sabab, adiabatik kengayganda bosim faqat  $V$  ning oʻzgarishi bilan emas, balki temperaturaning kamayishi hisobiga ham oʻzgaradi (37-rasm).

Adiabatik jarayonni boshqa gaz parametrlari bilan ham xarakterlash mumkin.

Masalan:  $PV = RT$  dan  $P = \frac{RT}{V}$  ni  $PV^\gamma = \text{const}$

(4) ga qoʻysak  $\frac{RT}{V} \cdot V^\gamma = \text{const}$

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (5)$$

Huddi shuningdek  $V$  ning oʻrniga  $T = \frac{RT}{P}$  ni

qoʻysak,  $PV^\gamma = P \left( \frac{RT}{P} \right)^\gamma = \text{const}$  boʻladi.

va bundan  $T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{const}$  (6)

ekanligi kelib chiqadi.

Ikkala tomondan  $\sqrt[\gamma]{\quad}$  ildiz olsak,  $TP^{1-\gamma} = \text{const}$  (7).

Shuni taʼkidlash lozimki, Puasson formulasi cheklangan intervallardagi  $P$ ,  $V$ ,  $T$  ning qiymatlari uchun oʻrinlidir.

### §31. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish.

1 mol gazning hajmi  $V_1$  dan  $V_2$  gacha kengayganda bajarilgan ishning hisoblaymiz:

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

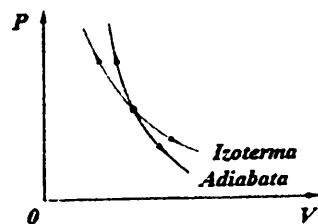
$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$P \sim V$  adiabatga boʻyicha bogʻlangan, yaʼni  $PV^\gamma = \text{const}$ . (2)

Shuning uchun boshlangʻich holatga nisbatan

$$PV^\gamma = P_1 V_1^\gamma \quad (3)$$

Undan  $P = \frac{P_1 V_1^\gamma}{V^\gamma}$ , bu yerda  $V_1$  - gazning boshlangʻich hajmi.



37 - rasm

$$(1) \text{ dan } dA = PdV = \frac{P_1 V_1^\gamma}{V^\gamma} dV$$

$$\text{va } A = \int_{V_1}^{V_2} P_1 V_1^\gamma \frac{dV}{V^\gamma} = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma}$$

$$A = P_1 V_1^\gamma \frac{1}{-\gamma+1} \left( -\frac{1}{V_1^{-\gamma+1}} + \frac{1}{V_2^{-\gamma+1}} \right) = \frac{P_1 V_1^\gamma}{-\gamma+1} \cdot \frac{1}{V_1^{-\gamma+1}} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$P_1 V_1 = RT_1$  ekanligini hisobga olsak:

$$A = \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$

Agar  $\frac{M}{\mu}$  mol gaz uchun yozsak

$$A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (4)$$

Boshqa koʻrinishdan foydalansak,

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \text{ yoki}$$

$$\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{Shuning uchun } A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{\gamma-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2) \quad (5)$$

$$\frac{R}{\gamma-1} = C_v; \quad \gamma C_v - C_v = R; \quad C_p - C_v = R; \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v} \text{ tenglamani}$$

hisobga olamiz.

$$\text{unda } A = \frac{M}{\mu} \cdot C_v (T_1 - T_2) = -\Delta U \quad (6)$$

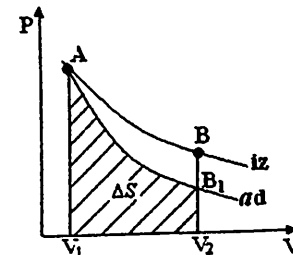
Izotermik jarayonda bajarilgan ish  $A_{iz} = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ .

Adiabatik jarayonda esa  $A_{ad} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$

$$A_{ad} < A_{iz}$$

$\gamma \rightarrow 1$  lim hisoblasak, unda  $A_{ad} \rightarrow A_{iz}$  tenglamani isbot qilish mumkin

$A_{ad} < A_{iz}$  ekanligini grafikdan koʻrish mumkin (38-rasm).



38 - rasm

$A = \int PdV$  grafikda shtrixlangan shakl yuzasiga teng.

U holda

$$\Delta S_{AB,1,2} > \Delta S_{AB,1,2}$$

$\gamma \rightarrow 1$  lim da albatta yuzalar tenglashadi, demak ishlar ham bir xil bo'ladi.

### §32. Politropik jarayon

Biz ko'rgan izotermik, adiabatik jarayonlar ideal hollardagina ro'y beradi. Lekin turmushda bu jarayonning bitta o'zi kamdan-kam uchraydi va ko'pincha bu ikkita va undan ortiq jarayonlar bir vaqtda ro'y berishi mumkin. Bunday jarayonlar *politropik jarayonlar* deyiladi. Bu jarayonda  $C_p$  issiqlik sig'imi o'zgarmas va  $\frac{dQ}{dT}$  ga teng bo'lib qolish holiga aytiladi.

$$C_p = \frac{dQ}{dT} \quad \text{yoki} \quad dQ = C dT$$

Politropik jarayonning umumiy tenglamasini topamiz. Termodinamikaning I-qonuniga ko'ra

$$dQ = C dT = C_1 dT + PdV$$

yoki

$$(C - C_1) dT = PdV \quad (1)$$

$PV = RT$  tenglamasini differensiallab,  $dT$  ni topamiz:

$$P \cdot dV + V \cdot dP = R \cdot dT$$

$$dT = \frac{P \cdot dV + V \cdot dP}{R} = \frac{PdV + VdP}{C_p - C_1} \quad R = C_p - C_1 \text{ desak,}$$

$$\frac{C - C_1}{C_p - C_1} \cdot (P \cdot dV + V \cdot dP) = P \cdot dV$$

$$\left( \frac{C - C_1}{C_p - C_1} - 1 \right) P \cdot dV = - \frac{C - C_1}{C_p - C_1} \cdot V dP \quad \left| \frac{1}{PV} \right.$$

$$\frac{C - C_p}{C_p - C_1} \cdot \frac{dV}{V} = - \frac{C - C_1}{C_p - C_1} \cdot \frac{dP}{P} \quad |(C_p - C_1) \quad \text{va integrallasak,}$$

$$\int \frac{C - C_p}{C - C_1} \cdot \frac{dV}{V} = - \int \frac{dP}{P}$$

$$\ln P + \frac{C - C_p}{C - C_1} \ln V = const$$

$$\frac{C - C_p}{C - C_1} = n \text{ deb belgilasak,}$$

$$PV^n = const \quad \text{bo'ladi.} \quad (2)$$

$n$  - politropa ko'rsatkichi deyiladi.

$C$  - shu jarayondagi gazning issiqlik sig'imi.

{ Agar  $dQ = 0$ ,  $C = 0$  bo'lsa,  $n = \gamma$ , adiabatik jarayon bo'ladi.

{ Agar issiqlik sig'imi  $C = \infty$  bo'lsa, unda  $n = 1$ , izotermik jarayon bo'ladi.

**Ideal gazning adiabatik siqilish koeffitsiyenti.**

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}; \quad \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \text{ edi.} \quad \gamma \frac{dV}{V} = - \frac{dP}{P}; \quad \frac{dV}{dP} = - \frac{V}{\gamma P},$$

u holda 
$$\chi = - \frac{1}{\gamma P};$$

Izotermik siqilish koeffitsiyenti  $\chi = - \frac{1}{P}$  edi va adiabatik jarayonda siqilish  $\gamma$  marta kichik bo'ladi.

### Bob yuzasidan nazorat savollari

1. Issiqlik nima?
2. Issiqlik miqdori nima?
3. Issiqlik sig'imi nima?
4. Solishtirma issiqlik sig'imi nima?
5. Issiqlik sig'imi va erkinlik darajasi.
6. Dyulong-Pti qonuni.
7. Qattiq jismlarning issiqlik sig'imini kvant nazariyasi.
8. Moddaning molyar issiqlik sig'imi nima?
9. Moddaning solishtirma issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
10. Ideal gaz deb nimaga aytiladi? Ideal gaz bo'lishligini 3ta sharti.
11. Termodinamikaning I bosh qonuni?
12. Ichki energiya nima?
13. Ideal gazning ichki energiyasi. Adiabata tenglamasi.
14. Gazlarda bajarilgan ish:
  - a) Izotermik jarayonda; b) Izobarik jarayonda; v) Adiabatik jarayonda.
15. Erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?
16. Nima uchun hajm o'zgarmagandagi issiqlik sig'imi bilan bosim o'zgarmagandagi sig'im bir-biridan farq qiladi?

17. Universal gaz doimiysi – R ning fizik ma’nosi.  
 18. Adibatik jarayon va uning tenglamasi. Adibatik jarayonda bajarilgan ish.  
 19. Politropik jarayon.

### III BOB. MOLEKULALARNING TO‘QNASHISHI VA KO‘CHISH HODISALARI

#### §33. Molekulyar harakatlar va ko‘chish hodisalari

Gaz molekularining tezliklari kinetik nazariyaning asosiy tenglamasiga asosan quydagi tenglama orqali toppish mumkin

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT.$$

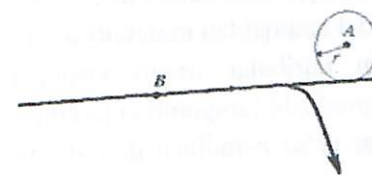
Bu xona sharoitida havo molekulari uchun 500 m/s,  $H_2$  uchun 1800 m/s ga teng va bu tajribada tasdiqlangan. Bu qiymatlar yuzaki qaraganda ba’zi qonunlarga zid keladi.

**Masala 1.** Gazning biror qismining temperaturasini  $\Delta T$  ga oshiraylik. Bunda gazning muvozanati vaqtincha buziladi va birozdan so’ng bu uning temperatura muvozanati qayta tiklanadi. Temperaturaning tenglashishi molekularning uzluksiz harakati tufayli bo’ladi. Tez molekular sekin molekular uchastkasiga o’tib aralashadi va  $\bar{v}$  tenglashishga intiladi yoki  $n_i$  ning  $v_i$  to’g’ri keluvchilari tenglashadi. Bunda molekular konsentratsiyasi  $n$  tenglashadi, lekin energiya almashinishi (ko’chishi) ro’y beradi. Bu jarayon *issiqlik o’tkazuvchanlik* deyiladi.

Yuzaki xulosa shuki, bu jarayon molekularning tezligiga yaqin tezlik bilan ro’y berishi kerak. Lekin, tajriba shuni ko’rsatadiki, havoning issiqlik o’tkazuvchanligi juda kichik va issiqlik muvozanati ancha vaqtdan so’ng ro’y beradi.

**Masala 2.** Agar bir gazga ikkinchi gazni qo’shsak, bu holda  $P$ ,  $T$  bo’yicha va tajribalar asosida bir jinsli aralashma bo’lishini ko’ramiz. Konsentratsiyalarning bunday tenglashishi aralashma molekularining bu molekular kam bo’lgan yo’nalishda siljishi tufayli yuzaga keladi va bu jarayon *diffuziya* deb ataladi. Biroq siljigan molekular o’rniga boshqa molekular keladi va  $P = const$  bo’ladi. Aralastirilgan gazda massa ko’chishi ro’y beradi xolos.

**Masala 3.** Nihoyat gazning muvozanatini uning bir qismiga boshqa qismiga nisbatan tezlanish



38 - rasm

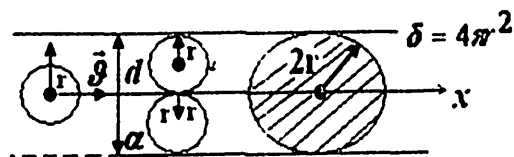
berish yoʻli bilan buzish mumkin. Bu holda tez harakat qilayotgan qatlam molekularidan sekin harakat qilayotgan qatlam molekulariga impuls uzatilishi (koʻchishi) natijasida ularning tezliklari tenglashishga intiladi. Bu hodisa *ichki ishqalanish* yoki *qovushoqlik* deyiladi.

Mana shu uchala holda ham, koʻchish hodisalari molekularning issiqlik harakati natijasida roʻy beradi. Lekin bu hodisalar molekular tezliklar kattaligiga qaramay "juda" sekin amalga oshadi.

Buning asosiy sababi, molekularning oʻzaro toʻqnashuvidir. Toʻqnashuv esa molekularni toʻgʻri chiziq boʻylab harakat qilishga yoʻl qoʻymaydi. Molekular hech qachon toʻqnashuvsiz harakat qilmaydi, albatta shu normal holatda, gaz agar siyraklashmaganda, yaʼni vakuumda bu toʻqnashuvlar molekularning harakat yoʻnalishini oʻzgartirib turishiga sabab boʻladi (dissotsiatsiya, ionizatsiya va h.z. hodisalar ham roʻy berishi mumkin). Biz molekularning toʻqnashuv natijasida oʻz harakat yoʻnalishini oʻzgartirishi (sochilishi) jarayonini koʻramiz.

Molekularning yoʻnalishlarini oʻzgartirishining asosiy sababi shundaki, ular bir-biriga juda yaqinlashganda oʻzaro tasir kuchlari tufayli yuzaga keladi. Molekularning harakat yoʻnalishini boshqa molekula taʼsirida sezilarli burchakka oʻzgarishiga *molekularning toʻqnashuvi* deb ataymiz. Molekularning toʻqnashuvi jarayonini bilyard sharlari modelida koʻramiz.

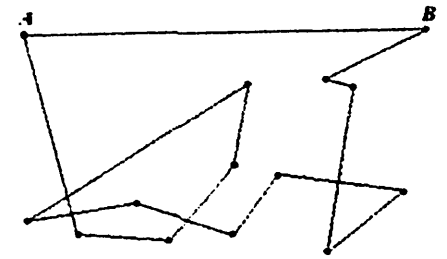
$d \leq 2r$  boʻlganda toʻqnashadi va toʻqnashganda shar markazlari orasidagi masofa  $d = 2r$  ga teng boʻladi (39-rasm). Bunday qoʻpol oʻxshatish—molekularni elastik shar deb hisoblaganda oʻrinli boʻladi. Bu model haqiqatdan molekulyar-kinetik nazariyaning asosini tashkil qiladi va koʻp tajribalar orqali tasdiqlangan. Zarralar fizikasida, zarralarning toʻqnashishi jarayonida ularning effektiv kesim yuza tushunchasi kiritiladi. Agar taʼsir  $r$ -radiusli doirada mavjud boʻlsa, u holda shu doiraning yuzi  $\sigma = \pi d^2$  shu *jarayonning kesimi* deb ataladi. Lekin  $\sigma \perp \vec{v}$ , va  $\sigma = S = 4\pi r^2$  ekan. Zaryadlangan zarralarda esa  $\sigma_{zaryad. zar.} > 4\pi r^2$ .



39 - rasm

### §34. Vaqt birligidagi oʻrtacha toʻqnashishlar soni va oʻrtacha erkin yugurish yoʻli uzunligi

Molekular harakatining trayektoriyasi siniq toʻgʻri chiziqlardan iboratdir. Trayektoriyadagi har bir siniq toʻqnashish joyini bildiradi (40-rasm). Molekularning ikki ketma-ket toʻqnashishlar orasida oʻtgan masofa *erkin yugurish yoʻli* deyiladi. Gazda molekular juda koʻp boʻlgani uchun, hamda fluktuatsiyalar mavjud boʻlgani sababi biz oʻrtacha erkin yugurish yoʻli uzunligini, shuningdek vaqt birligi ichidagi oʻrtacha toʻqnashishlar sonini ham aniqlaymiz. Mana shu ikki parametrlar oʻzaro bogʻliq boʻlib, gaz molekularining toʻqnashish jarayonining asosiy xarakteristikalari boʻladi. Rasmdan koʻrinib turibdiki, molekulaning AB koʻchishi uning yoʻlidan juda kam. Demak, molekulaning yoʻli juda uzun. Bu esa koʻchish hodisalarining tez roʻy bermasligini koʻrsatadi. Bunga asosiy sabab, molekularning toʻqnashuvi va bu toʻqnashuv tezlikning taʼsirini kompensatsiyalab qoʻyadi.



40 - rasm

Gaz molekularining vaqt birligi ichida duch keladigan oʻrtacha toʻqnashuvlari sonini oddiy mulohazalar asosida hisoblaymiz:

$$S = \pi d^2 = 4\pi r^2$$

Molekularni  $r$  radiusli qattiq sharchalar deb hisoblab, molekularlardan bittasi, masalan, tekis taqsimlangan hajmda harakat qilyapti, deb faraz qilamiz. Demak,  $n = const$  deb shu bitta molekuladan tashqari hamma molekular tinch turibdi, deb faraz qilamiz. 1sek da  $S = \vartheta$  masofani bosib, oʻz yoʻlidagi molekular bilan toʻqnashadi. Silindrning hajmi  $V = \sigma \cdot \bar{v}$ , molekular soni  $N = n\sigma \cdot \bar{v}$ . Demak, toʻqnashuvlar soni  $z$

$$z = \sigma \bar{v} n, \quad (1)$$

bu yerda  $\sigma = 4\pi r^2$

Biz molekularni toʻgʻri chiziqda harakat qiladi deb faraz qilsak ham, lekin shu silindrni siniq chizsak ham,  $\sigma$  bir xil boʻladi. Biz "siniq silindrni" toʻgʻriladik (41-rasm). Keyingisi, molekular tinch holatda

bo, jadi dedik. Lekin boshqa molekular ham harakatdadir. Shuning uchun umumiy tezlik o, rniga nisbiy tezlikni nisbatan olish kerak. Maksvell taqsimotidan foydalanib,  $\bar{v}_{ms}$  bilan  $\bar{v}$  mutlaq (absolyut) tezlik quyidagicha bog, langanligini ko, rsatish mumkin.

$$v_{ms} = \sqrt{2}\bar{v}$$

U holda  $z = \sqrt{2}\sigma\bar{v}n$  (2)

Agar molekularni sharchalar desak,  $\sigma = 4\pi r^2$  va  $z = 4\sqrt{2}\pi r^2\bar{v}n$  (3)

1 sek da hajm birligidagi barcha molekularning to, qnashishlar soni  $z' = \frac{nz}{2} = 2\sqrt{2}\pi r^2\bar{v}n^2N$  (4)

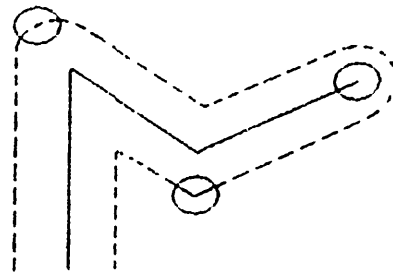
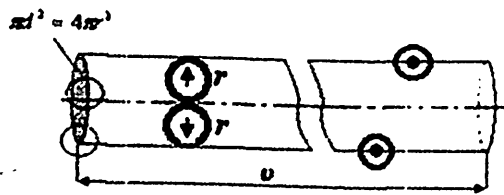
Chunki 1-to, qnashuvda 2 ta molekula qatnashadi, 3 va 4 ta molekularning bir vaqtda to, qnashish ehtimolligi kam. 1 sek da V hajmda to, qnashishlar soni  $z' = \frac{nz}{2} = 2\sqrt{2}\pi r^2\bar{v}n^2V$ , chunki  $N=nV$  (5),

Bu yerda  $n$  – gaz molekularning konsentratsiyasi.

Bir molekularning vaqt birligi ichida duch keladigan to, qnashuvlar sonini bilgan holda erkin yugurish yo, lini hisoblaymiz.

$t$  – vaqtda bosib o, tgan yo, li  $S = \bar{v} \cdot t$ .

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{S}}{\bar{z} \cdot t} = \frac{\bar{v} \cdot t}{\bar{z} \cdot t} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} \quad (6)$$



41 - rasm

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{4\sqrt{2}\pi r^2\bar{v}n} = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2n} = \frac{0,057}{r^2 \cdot n} \quad (7)$$

Masalan, normal sharoit uchun  $\bar{v} = 500m/s$ ,  $r = 1,9 \cdot 10^{-10}m$ ,  $n = 2,7 \cdot 10^{25}m^{-3}$

desak,  $z \approx 8,6 \cdot 10^9 s^{-1}$ .

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{z} \approx 0,6 \cdot 10^{-7}m \approx 6 \cdot 10^{-8}m$$

1 sek da 1 ta molekula milliard marta to, qnashsa, u erkin harakat qila oladimi? Ha, qila oladi!

Masalan,  $\lambda \sim 10^{-7}m$  va  $d \sim 10^{-10}m$  bo, lsa,  $\frac{\lambda}{d} \geq 1000$ .

Demak, harakat vaqti to, qnashish vaqtidan 1000 marta katta.

a) Erkin yugurish yo, li uzunligining bosimga bog, liqligi.

$$\lambda \sim \frac{1}{n}; \quad P \sim nkT, \quad T = const.$$

$$\lambda \sim \frac{1}{P}; \quad P \rightarrow, \quad n \rightarrow, \quad \lambda \leftarrow$$

b) Erkin yugurish yo, li uzunligining temperaturaga bog, liqligi.

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2n} \quad \text{dan} \quad \lambda \neq T$$

Lekin  $\lambda \sim T$  - zaif bog, liq,  $T \rightarrow \lambda \rightarrow$  ekan. Tajribalar shuni

tasdiqlaydi. Buning sababi shundaki,  $\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2n} = \frac{0,057}{r^2 \cdot n}$

$$T \rightarrow v \rightarrow, \quad \sigma_{ef} \leftarrow, \quad \lambda \rightarrow \text{ sababi } \lambda \sim \frac{1}{\sigma}$$

Ko, ndalang kesim yuzi esa molekularning to, qnashuvda yaqinlashadigan masofasiga, ya'ni molekulararo o, zaro ta' sir kuchlari ularning harakat yo, nalishlarini o, zgartirishga sezilarli ta' sir ko, rsatadigan masofaga bog, liq.

Molekularning ko, ndalang kesim yuzi  $\sigma \sim v$ ,  $E$ -energiyasiga bog, liq, chunki bu molekularning og, ishi sekin tezlikdagi molekularga nisbatan oz. Demak,  $v \rightarrow, \sigma \leftarrow, \lambda \rightarrow$ .

$[\sigma] = \text{barn}$ .  $1 \text{ barn} = 1 \cdot 10^{-28} \text{ sm}^2$ .

c) Zarralar effektiv ko, ndalang kesimi yuzi va ehtimollik.

Qatlamlardagi barcha molekularning umumiy kesim yuzi  $\Delta S = n\sigma \cdot \Delta x$

Lekin molekula har bir qatlamda to, qnashuvga duch kelishi mumkin, duch kelmasligi ham mumkin. Bunday tajribalarni yakunlab qarasa, molekularning to, qnashuvi duch keladigan tajribalar sonining umumiy tajribalar soniga nisbati qatlamdagi barcha molekular kesimlari maydoni

qatlamining umumiy maydoni nisbatiga teng, ya'ni  $\sigma \cdot N / 1 \text{ sm}^2$ . Shunday qilib,  $\Delta x$  masofada  $n\sigma \Delta x$  - molekular to'qnashuvi duch kelish ehtimolligidir.

Agar  $\Delta x = 1 \text{ cm}$  bo'lsa, bu ehtimollik  $n\sigma$  ga teng.

Agar  $\Delta x = \lambda$  bo'lsa, u holda molekula bu yo'lda albatta to'qnashuvga duch kelgan bo'lar edi. Bu degan so'z qatlamdagi barcha molekularning "ko'rinuvchan" kesim yuzi qatlamning yuziga, ya'ni  $1 \text{ cm}^2$  ga teng, ya'ni  $n\sigma \lambda = 1 \text{ sm}^2$ .

Shunday qilib, molekular effektiv ko'ndalang kesimi  $\sigma$  molekularning to'qnashish ehtimolligiga bog'langan bo'lib, sof geometrik ma'noga ega emas.

$\sigma_{\text{ef}}$  katta bo'lsa, bunda  $r^2$  katta emas, ta'sir doirasi katta. Shuning uchun

$$z_1 = n\sigma \bar{v}$$

$\frac{z_1}{\bar{v}} = n\sigma$  - kattalik  $1 \text{ cm}$  ga teng bo'lgan yo'lda sodir bo'ladigan to'qnashuvlar soni  $z'$  ni bildiradi:

$$n\sigma = \frac{z_1}{\bar{v}} = z'$$

Bundan 
$$\sigma = \frac{z'}{n} \quad \sigma = \frac{z_1}{n\bar{v}}$$

Bir molekulaning ixtiyoriy gaz qatlamida (gaz hajmi  $1 \text{ cm}^3$ ) to'qnashish ehtimolligi  $\frac{z'}{n}$  bo'ldi. To'qnashishlar soni  $z' = n$  bo'lsa, unda ehtimollik  $1$   $\sigma$  teng.  $[\sigma] = 1 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2 = 1 \text{ barn}$ . Demak,  $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ sm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

### §35. Molekulyar dastaning gazda sochilishi

Gazda molekularning to'qnashuvi tufayli molekulyar dasta gaz orqali o'tganda zaiflashadi (susayadi). Barcha molekular tezligining kattaligi va yo'nalishi bir xil bo'lgan ko'p sonli molekular sistemasi gazdan o'tayotgan bo'lsin. Gaz molekulari bilan to'qnashish natijasida shu dasta molekularning bir qismi o'zining yo'nalishini o'zgartiradi (ya'ni sochiladi). Dasta vaqt bo'yicha zaiflasha boradi (ya'ni  $N \leftarrow$ ). Aytaylik, dasta  $x = 0$  bo'lganda, molekular soni  $N_0$  bo'lsin. Yo'lning  $dx$  qismida,

dastadagi molekular soni  $dN$  ga kamaysin. Molekularning nisbiy kamayishi  $-\frac{dN}{N} = \frac{dx}{\lambda}$  bo'ldi.

$dx$  necha marta  $\lambda$  dan katta bo'lsa, sochilish shuncha marta ko'p bo'ldi.

$$\int \frac{dN}{N} = - \int \frac{dx}{\lambda}$$

$$\ln N = -\frac{x}{\lambda} + \ln C; \quad N = Ce^{-\frac{x}{\lambda}}$$

Boshlang'ich shartdan  $x = 0$  da  $N = N_0$   $N = N_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}$ .

Demak, sochilish  $x$  ortishi bilan eksponensial qonunga muvofiq holda kamayadi.

Eksponensial egri chiziq tikligini  $\frac{1}{\lambda}$  kattalik belgilaydi va bu kattalik "sochilish koeffitsiyenti" deyiladi. Bu formuladagi  $\lambda \rightarrow \infty$   $N = N_0$ , ya'ni molekular siyraklashtirilsa va  $\lambda = \infty$  bo'lsa, u holda molekular sochilmas ekan ( $N_0 = \text{const}$ ). Masalan, yuqori vakuumda!

### §36. Gazlarda diffuziya

Bir-biriga tegib turgan ikki yoki undan ortiq modda zarrachalarning issiqlik harakati tufayli bir-biri bilan aralashib ketish jarayoniga *diffuziya* deyiladi. Agar gaz bir necha gaz aralashmalaridan tashkil topsa va konsentratsiya jihatidan bir jinsli bo'lmasa (ya'ni  $n \neq \text{const}$ ), bunday gazda diffuziya jarayoni vujudga keladi. Bu jarayonning mohiyati shundan iboratki, diffuziya  $n_j$  ko'p sohalardan  $n_i$  kam bo'lgan qismlarga, ya'ni  $n$  kichik yo'nalishda sodir bo'ldi.

Bir komponentaning konsentratsiyalar farqi ta'sirida siljishi bu *komponentaning diffuzion oqimi* deb ataladi. Bu oqim diffuziyalanuvchi komponentaning vaqt birligida oqimga perpendikulyar birlik yuzadan o'tgan miqdori bilan o'lchanadi.

Birliklari:

SI:  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{sek}$ .

SGS:  $\text{g/cm}^2 \cdot \text{sek}$ .

Modda oqimi miqdori  $v$  esa  $\text{mol/cm}^2 \cdot \text{sek}$  yoki  $\text{molekula/cm}^2 \cdot \text{sek}$  o'lchanadi.

Konsentratsiya farqi tufayli hosil boʻlgan diffuzion oqim konsentratsiyalarning tenglashishiga, ya'ni shu oqimni hosil qilgan konsentratsiyalar farqining kamayishiga olib keladi va vaqt o'tishi bilan gaz aralashmasi bir jinsli boʻlib qoladi ( $n = const$ ).

Jarayonda qatnashayotgan sistemaning parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan jarayon *nostatsionar jarayon* deyiladi, agar parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu jarayon *statsionar jarayon* deyiladi.

Konsentratsiyalar farqi va komponentalar konsentratsiyalari vaqt bo'yicha o'zgarib, konsentratsiyalarining tenglashishiga olib keluvchi diffuziya *nostatsionar diffuziya* deyiladi. Agar konsentratsiyalar farqi doimiy saqlanib turilsa ( $n_1 - n_2 = const$ ), bunday diffuziya *statsionar diffuziya* deyiladi.

#### Diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni)

Tajribalar biror gaz aralashmasi komponentasining diffuzion oqimi shu komponenta konsentratsiyasi gradiyentining teskari ishorasi bilan olingan qiymatiga proporsional ekanligi ko'rsatdi. Biror skalyar kattalik  $G$

gradiyenti  $grad G = \frac{dG}{dx}$  — bu shu kattalikning biror  $x$  o'qi bo'yicha o'zgarish tezligini ifodalaydi, ya'ni uzunlik birligidagi o'zgarishini ifodalaydi.

Agar bizni qiziqtirgan  $q$  — komponenta  $x$  o'q bo'ylab o'zgarsa, u holda  $q$  — komponenta gradiyenti

$$grad q = \frac{dq}{dx} \quad (1)$$

Diffuziyaning asosiy (Fik) qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$I = -D \frac{dq}{dx} \quad (2)$$

$I$  — bizni qiziqtirgan komponentaning  $x$  bo'yicha diffuzion oqimi;

(-) ishorasi oqim konsentratsiyasining kamayish yo'nalishidagiligi ko'rsatadi;

$D$  — diffuziya koeffitsiyenti deyiladi.

Ma'nosi: konsentratsiya gradiyenti bir birlikka teng bo'lgandagi diffuzion oqimning son qiymatiga teng.

$$SI: [D] = \frac{[I]}{\frac{dq}{dx}} = \frac{\frac{kg}{m^3} \cdot s}{\frac{kg}{m^3}} = m^2/s; \quad SGS: sm^2/s.$$

$$[D] = \frac{\left| \frac{\Delta N}{\Delta S \cdot \Delta t} \right|}{\frac{dn}{dx}} = m^2/s.$$

Agar oqimni miqdor hisobida qarash, unda konsentratsiya o'rniga  $1m^3$  dagi modda miqdori-zichligini olishimiz kerak ( $q = \rho$ ).

$$I_m = M_m = -D \frac{d\rho}{dx} \quad (3)$$

Agar oqimni massa emas, zarralar soni bilan ifodalasak, umumiy konsentratsiya  $n = q$  bo'ladi va  $I = v_x = -D \frac{dn}{dx}$  (4) bo'ladi.

$D$  — diffuziyanuvchi moddaning va komponentalarning xossalriga bog'liq va konsentratsiya uncha katta bo'lmaganda, u konsentratsiyaga zaif darajaga bog'liq ( $D \neq n$ ).

Statsionar diffuziyada  $\frac{dn}{dx} = grad n = const$  va  $I = const$ .

Nostatsionar diffuziyada  $\frac{dn}{dx} \neq const$ , chunki konsentratsiya

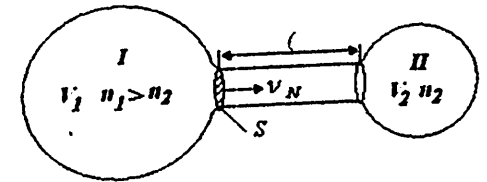
tenglashadi, shunga asosan  $\frac{dn}{dx}$  o'zgaradi,  $I$  ham o'zgaradi.

#### §37. Nostatsionar diffuziya

$V_1$  va  $V_2$  hajmi ikkita idish uzunligi  $l$  va ko'ndalang kesimi  $S$  bo'lgan nay bilan o'zaro ulangan bo'lsin va  $P_1 = P_2$ ,  $T_1 = T_2$  bo'lsin, lekin gazlar har xil bo'lsin, ya'ni  $\mu_1 \neq \mu_2$  va  $n_1 \neq n_2$ ,  $n_1 > n_2$  bo'lsin.

Diffuziya tufayli  $n_1$  va  $n_2$  lar tenglashishga intiladi, farq kamayadi  $\Delta n = n_1 - n_2$  (1)

Fik qonuniga asosan



42 - rasm

$$I = v_s = -D \frac{dn}{dx} \quad (1)$$

Osonlik uchun bizni qiziqtirayotgan gaz konsentratsiyasi  $n_2$  kichik bo'lsin. U holda  $\Delta n = n_1 - n_2$  (1)

$$-\frac{dn}{dx} = \frac{\Delta n}{l} \quad (2) \text{ deb yozish mumkin.}$$

$$\text{U holda } I = D \frac{\Delta n}{l} \quad (3)$$

$$I = \frac{dN}{S \cdot dt} \quad dN = I \cdot S \cdot dt$$

Diffuziya jarayonida sistema molekulari I  $\rightarrow$  II.  $dt$  vaqt ichida o'tgan molekular soni  $dN = D \frac{\Delta n}{l} \cdot S \cdot dt$  (4)

Buning natijasida I da molekularning konsentratsiyasi  $dn$  ga kamayadi.

$$\text{II da } dn' \text{ ga ortadi, ya'ni } dn' = -\frac{dN}{V_1}, \quad dn' = \frac{dN}{V_2} \quad (5)$$

Idishlardagi konsentratsiya  $dt$  vaqtdan keyin

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= n_1 - dn' = n_1 - \frac{dN}{V_1} \\ n_2 &= n_2 - dn' = n_2 + \frac{dN}{V_2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Binobarin  $dt$  vaqtdan keyin konsentratsiyalar farqi

$$\Delta n' = n_1 - n_2 = n_1 - n_2 - \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) dN = I S dt = D \frac{\Delta n}{l} S dt$$

(4)  $\rightarrow$  (1)

$$\Delta n' = \Delta n - D \frac{\Delta n}{l} \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) S \cdot dt \quad \text{bu konsentratsiyalar farqi.}$$

Konsentratsiyalar farqining o'zgarishi  $dt$  ga vaqt ichida

$$d(\Delta n) = \Delta n' - \Delta n = -D \cdot \Delta n \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2} \cdot \frac{S}{l} \cdot dt$$

Bu yerda  $\frac{V_1 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = V_0$  - keltirilgan hajm deb qabul qilingan.

Agar  $V_1 = V_2 = V$  bo'lsa,  $V_0 = \frac{V}{2}$  bo'ladi.

Demak,

$$d(\Delta n) = -D \cdot \Delta n \cdot \frac{1}{V_0} \cdot \frac{S}{l} \cdot dt$$

$$\text{yoki } \frac{d(\Delta n)}{\Delta n} = -D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l} \cdot dt, \text{ buni}$$

integrallasak.

$$\ln \Delta n = -D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l} \cdot t + \ln A, \text{ bu erda}$$

$\ln A$  - integrallash doimiysi.

$$\Delta n = A \exp \left( -D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l} \cdot t \right)$$

$A$  ni  $t=0$  bo'lganda,  $\Delta n$  farq  $\Delta n_0$  teng. U holda  $\Delta n = A = \Delta n_0$  ekan.

Demak,  $\Delta n$  ning o'zgarish qonuniyati

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp \left( -D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l} \cdot t \right) \quad (7)$$

$$\text{yoki } \ln \Delta n = \ln \Delta n_0 - \frac{D \cdot S \cdot t}{V_0 \cdot l} \quad (7')$$

Tenglamadan ko'rinadiki,  $\Delta n$ -konsentratsiyalar farqi  $t$  ga bog'liq holda, eksponensial kamayar ekan va uning kamayish tezligi  $D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l}$  ga bog'liq ekan (43-rasm). Bu qiymat qancha katta bo'lsa, shuncha gaz oqimi tezlashadi.

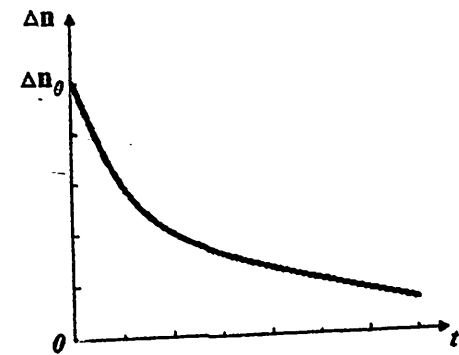
$$\frac{1}{D} \cdot \frac{V_0 \cdot l}{S} = \tau \quad (8) \text{ deb belgilaymiz}$$

Bu kattalik vaqt o'lchamliligi bilan belgilanadi.

Agar  $t = \tau$  bo'lsa,  $\Delta n = \frac{\Delta n_0}{e}$  teng bo'lar ekan. Bu  $\tau$  - jarayonning vaqt doimiysi deyiladi, u konsentratsiyalar farqining  $e$  marta kamayish vaqtini ko'rsatadi. Shuning uchun (8) ni

$$\Delta n = \Delta n_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9)$$

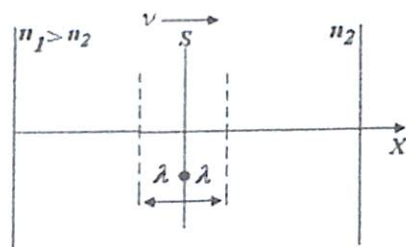
ko'rinishda yozishimiz mumkin.



43 - rasm

### §38. Statsionar diffuziya. Diffuziya koeffitsiyentini hisoblash

Endi statsionar diffuziyani, ya'ni  $\Delta n = n_1 - n_2 = const$  holni ko'raylik. Aniqlik uchun  $x \perp S$  yuzani olaylik va  $n_1 > n_2$  bo'lsin. Issiqlik harakati tufayli molekulalar  $S$  orqali chapdan o'ngga, o'ngdan chapga o'tadi. Diffuzion oqim  $S$  yuzaning  $1 \text{ cm}^2$  dan  $1 \text{ sek}$  da o'ngdan chapga o'tgan oqim  $I_1$  dan chapga o'ngdan o'tgan oqim  $I_2$  ning ayirmasiga teng, ya'ni  $\Delta I = I_1 - I_2$ . (1)



44- rasm

Agar molekulalarning hajm birligidagi molekulalar soni  $n$  desak, ularning o'rtacha tezligini  $\bar{v}$  desak,  $1 \text{ sek}$  da  $1 \text{ sm}^2$  dan  $n\bar{v}$  molekula o'tishi kerak. Lekin molekulalar  $x, y, z$  o'qi bo'yicha bir xil sonlarda harakat qiladi desak, unda  $\frac{1}{3}$  qismi  $x$  bo'yicha, bir tomonga esa  $\frac{1}{6}$  qismi harakat qiladi:

$$\text{Unda } I_1 = \frac{1}{6}n'\bar{v} \quad \text{va} \quad I_2 = \frac{1}{6}n''\bar{v} \quad (2)$$

Bu yerda  $n'$  va  $n''$  - molekulalarning  $S$  yuzaning bir tomonidagi va ikkinchi tomonidagi konsentratsiyalari,  $\bar{v}$  - molekulalarning o'rtacha arifmetik tezligi. Bu molekulalar to'qnashuvlari natijasida  $n'$  va  $n''$  o'zgaradi. Shu yuza oldida oxirgi to'qnashuvda hosil bo'lgan  $n'$  va  $n''$  konsentratsiyalar bilan yuzaga keladi. Demak,  $n'$  va  $n''$   $S$  dan  $\lambda$  uzoqlikdagi molekulalarning konsentratsiyalari ekan.

$$\text{Diffuzion oqim } I = I_1 - I_2 = \frac{1}{6}(n' - n'')\bar{v} \quad (3)$$

$n' - n'' - \Delta x = 2\lambda$  masofada turgan qatlam molekulalari konsentratsiyalarining farqidir.

Agar  $\frac{dn}{dx}$  - konsentratsiya gradiyenti ma'lum bo'lsa,  $\frac{\partial n}{\partial x} = \frac{dn}{dx}$  deb,

$$n' - n'' = -2\lambda \frac{dn}{dx} \quad (4)$$

deb yozish mumkin.

Shunday qilib, diffuzion oqim,

$$I = -\frac{1}{3}\lambda\bar{v} \cdot \frac{dn}{dx} \quad (5)$$

$$\text{va } I = -D \frac{dn}{dx}$$

Agar tenglamaning har ikkala tomonini molekulalarning massasi  $m$  ko'paytirsak,

$$M = -\frac{1}{3}\lambda\bar{v} \cdot \frac{d\rho}{dx} \quad (6)$$

chunki  $\rho = mn$  dir.

Bu ifodalarni Fik qonuni bilan solishtirib,

$$I = v = -D \cdot \frac{dn}{dx} \quad \text{va} \quad M = -D \cdot \frac{d\rho}{dx} \quad \text{deb qarash, (6')}$$

(5) va (6) tenglamalardan

$$D = \frac{1}{3}\lambda\bar{v} \quad (7)$$

Diffuziya koeffitsiyentini gaz parametrlariga bog'liqligini tavsiflaymiz:

$$1) D \sim \lambda, \quad \lambda \sim \frac{1}{p}, \quad D \sim \frac{1}{p}, \quad P \rightarrow D \leftarrow;$$

$$2) D \sim \bar{v}, \quad \bar{v} \sim \sqrt{T}, \quad D \sim \sqrt{T}, \quad T \rightarrow D \rightarrow.$$

Bu formulani chiqarishda ikkinchi komponentaning diffuziyasini qaramadik. Aslida ikkinchi komponentaning birinchi komponentaga ta'siri bo'lmay iloji yo'q.

Masalan,  $H_2$  va  $CO_2$  aralashmasi uchun  $\frac{\bar{v}_{H_2}}{\bar{v}_{CO_2}} \approx 5$  va  $\lambda_{H_2} > \lambda_{CO_2}$ :

Lekin bu jarayonda bosimlar farqi vujudga kelishi mumkin. Bu jarayonda  $\Delta P = 0$  ga teng, ya'ni  $P = const$  dedik va umuman gaz sistemasi tinch holatdagi jarayon dedik. Agar I oqimdan II oqim oshib ketsa, u holda hosil bo'lgan qo'shimcha bosim  $\Delta P$  ham qo'shimcha gaz oqimini vujudga keltiradi va oqimlar muvozanatlashadi. Lekin bu jarayonlarni  $\Delta P$  va  $\Delta N$  farqlari mavjud bo'lmagan hol - gaz molekulalari gaz muhitidagi o'z-o'zidan diffuziyalanishini ko'rdik.

### §39. Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi

Agar gaz notekis isitilgan bo'lsa, u holda vaqt o'tishi bilan uning hamma sohalarida temperaturaning tenglashishini ko'rishimiz mumkin:

Gazning issiq qismi soviydi, sovuqroq qismi isiydi.

Ravshanki, bu hodisa gazning issiqroq qismidan sovuqroq qismiga issiqlik energiyasi oqimi natijasida ro'y beradi.

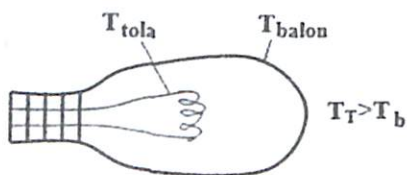
Gazda issiqlik oqimining hosil bo'lishiga *issiqlik o'tkazuvchanlik* deyiladi.

O'z holicha ro'y beradigan issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonlarining hammasi *nostatsionar jarayondir*. Agar temperaturalar gradiyenti (farqi)

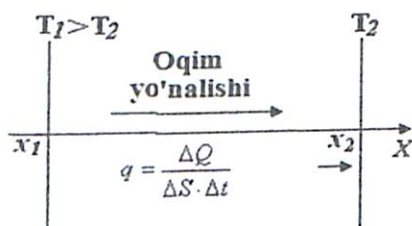
o'zgarimas qilib saqlanib turilsa, bunday jarayon *statsionar jarayon* deyiladi. Masalan: elektr lampochka yonganda vaqt o'tishi bilan  $T_t - T_b = \text{const}$  bo'lib qoladi. Lekin bu murakkab shaklga ega bo'lsa ham, biz oddiy holni ko'rib chiqamiz, ya'ni diffuziya holidagi misolga o'xshash holni ko'rib chiqamiz.

Issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonining miqdoriy qonuniyatlarini topishimiz kerak bo'ladi. Gazdagi biror yo'nalish, masalan,  $x$  o'qi bo'ylab temperatura bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga,  $x$  ning funksiyasi sifatida o'zgarayotgan bo'lsin. Temperatura  $x$  o'qi bo'yicha o'zgarishi  $\frac{\partial T}{\partial x}$  — temperatura gradiyenti bilan xarakterlanadi. Agar  $T$  faqat  $x$  bo'yicha o'zgarayotgan bo'lsa, unda  $\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{dT}{dx}$  deb yozish mumkin. Diffuziya jarayonida, shu

jarayonning amalga oshishining sharti,  $\frac{dn}{dx} \neq 0$  bo'lsa, issiqlik



45- rasm



45- rasm

o'tkazuvchanlik jarayonining amalga oshish sharti (bo'lish sharti)  $\frac{dT}{dx} \neq 0$ .

Issiqlik oqimi, agar  $T_1 > T_2$  bo'lsa, ya'ni  $dx > 0$  da  $dT < 0$  bo'lsa, u holda issiqlik oqimi  $x$  o'sayotgan tomonga qo'nalgan bo'ladi.

$$\text{Issiqlik oqimi } q = \frac{dT}{dx}; \quad q = \frac{\Delta Q}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{dQ}{dS \cdot dt}$$

Demak, yuza birligidan vaqt birligida oqib o'tadigan issiqlik miqdori *issiqlik oqimi* deyiladi.

Fure qonuni.  $q = -K \frac{dT}{dx}$  — issiqlik oqimi temperatura gradiyentiga to'g'ri proporsionl.

Bu yerda  $K$  — *issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti* deyiladi. Uning fizik ma'nosi:  $K$  — temperatura gradiyenti  $\frac{dT}{dx} = 1$  teng bo'lgandagi issiqlik oqimiga teng.

$$K = \frac{|q|}{\frac{dT}{dx}} \quad \text{yoki} \quad K = \frac{|\Delta Q|}{\Delta S \cdot \Delta t \left[ \frac{dT}{dx} \right]}$$

$$\text{SI: } [K] = \frac{J}{m \cdot s \cdot K} \quad \text{yoki } W/m \cdot K, \quad \text{SGS: } [K] = \frac{\text{erg}}{cm \cdot s \cdot K}$$

$$\text{Texnikada: } [K] = \frac{kJ}{m \cdot soat \cdot K}$$

$$\text{Demak, } dQ = q \cdot \Delta S \cdot dt = -K \frac{dT}{dx} \Delta S \cdot dt.$$

Statsionar sharoitlarda gaz orqali vaqt birligida oqib o'tgan issiqlik miqdori  $q$  — berilgan temperatura gradiyentida saqlab turilgan issiqlik manbaining solishtirma quvvatiga teng. Bu quvvat  $K$  ni aniqlashda o'lchanadi. Tabiatdagi issiqlik oqimi natijasida ro'y bergan issiqlik o'tkazuvchanlik nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlikdir. Sababi  $\frac{dT}{dx} = f(t)$ , ya'ni vaqtga bog'liq ravishda o'zgaradi.

### §40. Nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik

Hajmlari  $V_1$  va  $V_2$ ,  $P_1 = P_2$  va temperaturalar  $T_1 > T_2$  bo'lgan gazli idishlar ko'ndalang kesimi  $S$  va uzunligi  $l$  bo'lgan nay bilan birlashtirilgan

holni ko'raylik. Gazdagi temperaturalar farqi  $\Delta T = T_1 - T_2$ . Agar  $T_1 > T_2$ ,  $V_1 > V_2$  bo'lsa,  $\Delta T \sim t$  ga bog'liq bog'liq bo'lgan kamayish qonunini topaylik. Fik qonuniga asosan:

$$q = -K \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Soddalik uchun nayda  $\frac{dT}{dx} = \text{const}$  desak,  $\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{l}$ .  $q = -K \frac{\Delta T}{l}$

(2)

$dt$  vaqtda I  $\rightarrow$  II o'tgan issiqlik miqdori  $Q = -K \frac{\Delta T}{l} S \cdot dt$  (3), chunki

$$q = \frac{dQ}{S \cdot dt}$$

Buning natijasida I da temperatura  $dT_1$  ga kamayadi, II da esa  $dT_2$  ga oshadi.

Bu temperaturaning o'zgarishi shu gazning issiqlik sig'imga va olingan yoki berilgan issiqlik miqdoriga bog'liq, ya'ni

$$\left. \begin{aligned} dT_1 &= \frac{dQ}{m_1 c_1} \\ dT_2 &= \frac{dQ}{m_2 c_2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Agar gaz massalari o'rniga zichligini yozsak, ya'ni  $m_1 = \rho V_1$  va  $m_2 = \rho V_2$  ligini hisobga olsak,

$$\left. \begin{aligned} dT_1 &= \frac{dQ}{\rho V_1 c_1} \\ dT_2 &= \frac{dQ}{\rho V_2 c_2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Temperaturaning I-idishda  $dT_1$  ga kamayishi va

II-idishda  $dT_2$  ga ortishi

orasidagi temperaturalar farqi

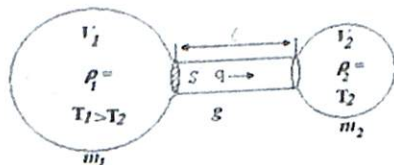
$d(\Delta T) = dT_1 + dT_2$ , chunki  $d(\Delta T) =$

$dT_2 - (-dT_1)$ . Shuning uchun

$$d(\Delta T) = \frac{dQ}{\rho c_1} \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) = \frac{dQ}{\rho c_1} \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2}$$

U holda  $dQ \sim dT$  da (1) va (3)

dan



46- rasm

$$dQ = -K \frac{dT}{l} S \cdot dt$$

$d(\Delta T) = -\frac{KS \cdot \Delta T}{l \rho c_1} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2}$  va  $\frac{V_1 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = V_0$  keltirilgan hajm deb belgilasak,

$$d(\Delta T) = -\frac{KS \cdot \Delta T}{l \rho c_1 V_0} \cdot dt$$

$$d(\Delta T) = -\frac{k \cdot S \cdot \Delta T}{l \rho c_1 V_0} \cdot dt$$

buni integrallasak,  $\int \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\int \frac{KS}{l \rho c_1 V_0} \cdot dt$

$$\Delta T = C \exp\left(-\frac{KS}{l \rho c_1 V_0} \cdot t\right)$$

Boshlang'ich shartdan  $t=0$  da  $\Delta T = \Delta T_0 = C$  ga teng.

Shuning uchun  $\Delta T = \Delta T_0 C \exp\left(-\frac{KS}{l \rho c_1 V_0} \cdot t\right)$  (6)

Bu formula xuddi diffuziya hodisasining nostatsionar formulasi shakliga o'xshash

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left(-D \frac{S}{l V_0} t\right) \quad (7)$$

Agar  $\frac{K}{\rho c_1} = D_T$  deb olinsa (7) va (6) formulalar juda o'xshash.

$D_T = \frac{K}{\rho c_1}$  - "temperatura diffuziyasi" koeffitsiyenti ham deyish mumkin.

$D_T$  - esa gazning xossalari bog'liq bo'lib, temperaturaning tenglashish tezligini xarakterlaydi. Shuning uchun  $D_T$  - temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti nomini olgan.

Xuddi diffuziya hodisasidek  $\frac{l \rho c_1 V_0}{K \cdot S} = \tau$  (8) issiqlik o'tkazuvchanlikning vaqti doimiysini kiritamiz. Bu shunday vaqtki,  $t = \tau$  bo'lganda, temperaturalar farqi  $\Delta T$  e marta kamayadi! U holda qonuniyat  $\Delta T = T_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$  ko'rinishida yoziladi.

#### §41. Statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblash

Gaz molekulari issiqlik harakati tufayli gaz egallagan hajmdagi har qanday kesimini molekular kesib o'tadi. Xuddi avvalgidek,  $\Delta T = \text{const}$

(statsionar)  $x \perp S$ ,  $T_1 > T_2$  bo'lgandagi issiqlik oqimini ko'raylik.  $S$  yuzadan 1 sek da chapga va o'ngga o'tuvchi molekular soni bir-biriga teng, agarda  $P_1 = P_2$  bo'lsa! Lekin  $v_1 > v_2$ . Demak,  $\frac{m\bar{v}_1^2}{2} > \frac{m\bar{v}_2^2}{2}$ .

Shuning uchun molekularning chapdan va o'ngdan olib kelayotgan energiyalari farqi issiqlik oqimini (ch $\rightarrow$ o,) molekular soni  $v_1 = \frac{1}{6}n\bar{v}$  ni vujudga keltiradi. 1 sm<sup>2</sup> dan 1 sek da (o, $\rightarrow$ ch) molekular soni  $v_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}$  hamda  $n = const$  bo'lib,  $v_1 = v_2$  lekin olib kelayotgan energiyalarning farqi bor. Shu energiyalarni topaylik.  $S$  yuzaga oxirgi to'qnashuvdan keyingi molekula keladi. Bu masofani o'rtacha  $\bar{\lambda}$  deyish mumkin.  $S$  dan (lyambda)  $\bar{\lambda}$  masofada  $T_1$  temperaturaga mos  $U_1$  o'rtacha energiyaga ega bo'lgan molekulari 1 sekda 1 sm<sup>2</sup> yuzaga olib kelayotgan energiya miqdori

$$q_1 = \frac{1}{6}n\bar{v}U_1, \quad (2)$$

Xuddi shunday, o'ngdan chapga  $q_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}U_2$ ,  $U_2$  esa  $T_2$  ga mos keluvchi molekula energiyasi. Natijaviy o'tuvchi energiya oqimi miqdori

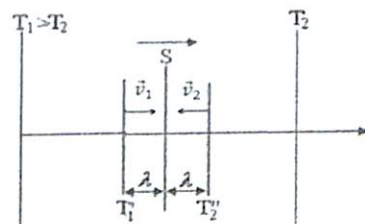
$$\Delta q = q_1 - q_2 = \frac{1}{6}n\bar{v}(U_1 - U_2) \quad (3)$$

$U_1$  va  $U_2$  biri-biridan  $2\bar{\lambda}$  masofada bo'lgan nuqtalardagi  $T_1$  va  $T_2$  temperaturalarga mos bitta molekula energiyasining o'rtacha qiymatidir. Bitta molekulaning o'rtacha energiyasi  $U \sim T$  va umumiy  $c_V$  orqali ifodalash mumkin. Haqiqatda, bitta molekulaning o'rtacha energiyasi  $U = \frac{i}{2}kT$  teng.

$i$  – erkinlik darajasi. 1 mol gaz uchun

$$U_M = C_V T = \frac{i}{2}RT = \frac{i}{2}kTN_A, \text{ chunki } C_V = \frac{i}{2}R.$$

Bitta molekula uchun



47- rasm

$$U = \frac{i}{2}kT = \frac{C_V}{N_A}T \quad (4)$$

$$U = \frac{C_V \cdot T}{N_A};$$

U holda  $q = \frac{1}{6}n\bar{v} \frac{C_V}{N_A} (T' - T'') \quad (5)$

$T' - T'' = 2\lambda$  masofada temperatura farqi  $\Delta T = \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \Delta x$  ga asosan

$\Delta x = 2\lambda$  masofada  $T'_1 - T''_2 = -2\lambda \frac{dT}{dx}$  temperaturalar farqi bo'ladi.

Shuning uchun  $q = -\frac{1}{3}n\bar{v}\lambda \frac{C_V}{N_A} \frac{dT}{dx} \quad (6)$

Fure qonunini  $q = -K \frac{dT}{dx}$  (7) ko'rinishini hisobga olib, (6) va (7) ni taqqoslasak, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ifodasini topamiz:

$$K = \frac{1}{3}n\bar{v}\lambda \frac{C_V}{N_A} \quad (8)$$

Agar  $C_V = c_V \cdot \mu = c_V \cdot m \cdot N_A$  (9) desak,

$$K = \frac{1}{3}mn\bar{v}\lambda c_V = \frac{1}{3}\rho\bar{v}\lambda c_V \quad (10) \text{ bo'ladi, bu erda } \rho - \text{gaz zichligi.}$$

$K$  – ideal gazlarning solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligi uchun taxminiy formuladir, chunki real hollarda koeffitsiyent 1/3 hamma vaqt to'g'ri kelavermaydi.

**Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining bosim va temperaturaga bog'liqligi:**

1)  $K \sim \lambda, n; n \sim P; \lambda \sim \frac{1}{P}$ .

Haqiqatda bosim  $P$  ning keng chegaralarida  $K \neq P$  - bosimga bog'liq emas! Lekin kichik bosimlarda  $K \sim P$  ekan.

2)  $K \sim \bar{v}; \bar{v} \sim \sqrt{T};$  lekin  $\lambda \sim T; T \rightarrow \lambda \rightarrow;$  demak  $T \rightarrow K \rightarrow,$  ya'ni erkinlik darajasi  $i$  ga bog'liq

3)  $K \sim \frac{C_V}{\mu} \sim i; i \rightarrow K \rightarrow.$

**$K$  va molekularning o'lchamlari.**

$$K = \frac{1}{3}n\bar{v}\lambda \frac{C_V}{N_0}$$

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n} = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n}$$

$$K = \frac{1}{3} \frac{n\bar{v} C_V}{\sqrt{2}\sigma n N_0} = \frac{\bar{v} \cdot C_V}{3\sqrt{2}\sigma n N_0}$$

$\bar{v}$  va  $C_V$  boshqa manbalardan ma'lum desak, va  $K$  o'lchangan bo'lsa, undan  $\sigma$  ni baholash mumkin:

$$\sigma = \frac{\bar{v} \cdot C_V}{3\sqrt{2}nKN_0} \text{ masalan, kislorod uchun } K = 0,024 \text{ W/m} \cdot \text{K} \quad t = 273^\circ \text{K}$$

bo'lsa,

$$\sigma = 1,7 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2, \text{ va } r = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi}} \approx 1,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Tajribada bu tasdiqlandi va  $\vartheta \rightarrow K \rightarrow$  oshar ekan.

4) Agar  $v \sim \sqrt{T}$  va  $\sim \sqrt{\frac{1}{m}}$  desak,  $m \leftarrow \bar{v} \rightarrow$  va  $K \rightarrow$  (ortadi).

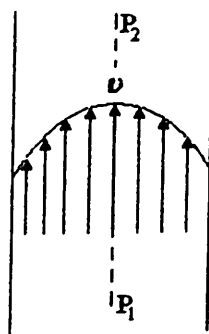
#### §42. Gazlarning qovushoqligi (ichki ishqalanish)

Gazlarda (shuningdek suyuqliklarda) qovushoqlik tufayli ularning turli qatlamlaridagi tezliklari tenglashadi. Bu esa gaz qo'shni qatlamlarining molekulalarining o'zaro impuls uzatilishiga asoslangan.

Agar tashqi kuchlar yordamida yuzaning turli qatlamlarining harakat tezliklari orasidagi farq ( $\Delta v = \text{const}$ ) bo'lsa, u holda qatlamdan qatlamga o'tuvchi impuls oqimi o'zgarmas (stasionar) bo'ladi, shu bilan birga bu oqim tezlikning kamayishi yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Masalan, trubadagi gaz oqimi truba markazida  $v = \max$ , truba devoriga tegib turgan qatlamda tezligi minimum-  $v \approx 0$ .

Bunday oqimda impuls  $v = \max$  li qatlamdan  $\rightarrow v = \min$  li qatlamlarga beriladi.  $\bar{v} \perp x$  bo'lsa va tezlik  $x$  ning funksiyasi bo'lsin. Tajribaning ko'rsatishicha  $1 \text{ cm}^2$  yuzadan  $dt = 1 \text{ s}$  ichida olib o'tilgan harakat miqdori  $L$  (impuls):



48- rasm

$$L = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Nyutonning II qonunini umumiy ko'rinishiga asosan

$$f = \frac{dL}{dt} = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot \Delta t} = -\eta \frac{dv}{dx} \quad (2)$$

$$f = -\eta \cdot \frac{dv}{dx} \quad (3), \text{ bu erda}$$

$\frac{dv}{dx}$  – tezlik gradiyenti.

$$\text{Qovushoqlik moduli } |\eta| = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot \Delta t \cdot \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|} \quad (4)$$

Yoki  $\Delta S = 1 \text{ m}^2$  bo'lganda

$$\eta = \frac{|f|}{\left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| \Delta S} \quad (5)$$

adaboyotlarda ( $\Delta S = 1 \text{ sm}^2$ ) deb olingan.

(-) ishorasi tezlik kamaygan yo'nalishda impuls ko'chishini ko'rsatadi.  $\eta$  – gazning qovushoqlik koeffitsiyenti yoki ichki ishqalanish koeffitsiyenti deyiladi:

$$\eta = \frac{|\Delta F|}{\Delta S \cdot \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|} \quad (6)$$

$\eta$  ning fizik ma'nosi:  $\left| \frac{dv}{dx} \right| = 1$  b. bo'lganda  $1 \text{ cm}^2$  yuzadan  $1 \text{ sek}$  da tezlikka

perpendikulyar bo'lgan yo'nalishda ko'chirib o'tilgan harakat miqdoriga (impulsga) qovushoqlik koeffitsiyenti deb aytiladi. Birliklari:

SI:  $\text{kg/m} \cdot \text{s}$ ;

SGS:

$\text{gr/sm} \cdot \text{sek} = \text{Puaz}$  yoki  $\text{Pz}$ .

$$[\eta] = \frac{[\Delta K]}{[S][t] \left| \frac{dv}{dx} \right|} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

Impuls bir qatlamdan ikkinchi qatlamga ko'chganida bu qatlamlar impulsini o'zgaradi, ya'ni qatlamlarning har biriga impulsning vaqt birligi

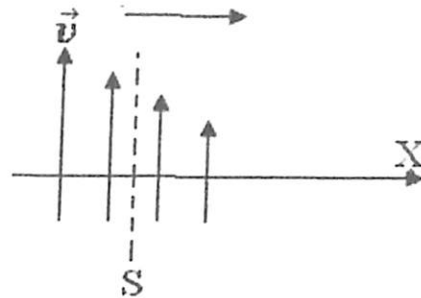
ichida o'zgarishiga teng kuch ta'sir qiladi, ya'ni  $\vec{f} = \frac{d\vec{K}}{dt}$ . Demak, qovushoqlik shunga olib keladiki, gazning biror qo'shni qatlamga nisbatan harakatlanayotgan ixtiyoriy qatlamiga biror kuch ta'sir qiladi. Bu kuch turli tezliklar bilan harakatlanayotgan gaz qatlamlari orasidagi ishqalanish kuchidir. Shuning uchun uni ichki ishqalanish deb yuritiladi. Uni quyidagicha yozamiz:

$$f = -\eta \cdot \frac{dv}{dx} \Delta S \quad (5)$$

$$f = \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{\Delta K}{\Delta t \cdot \Delta S} \quad (6)$$



Puayzel Jan Lui Mari (1799–1869) – fransuz fizigi. U suyuqliklarning qovushoqligini o'rgangan va silindrik naydan vaqt birligida oqib o'tgan suyuqlik miqdorini aniqlovchi formulani keltirib chiqargan va u Puayzel qonuni deyiladi. Qovushoqlik birligi qilib, uning sharafiga SGS sistemasida  $1 \text{ pz} (\text{puaz}) = 1 \text{ g} / \text{sm} \cdot \text{s}$  birlik qabul qilingan. Puayzel qonuni laminar oqim uchun o'rinli bo'lib, uning asosida suyuqlikning qovushoqligini aniqlovchi viskozometr yaratgan.



49- rasm

$f$  – gazning ikki qo'shni qatlamlarini ajratib turvchi sirt birligiga ta'sir qiluvchi kuch.

$$\eta - \text{qovushoqlik koeffitsiyenti } \frac{dv}{dx} = 1$$

bo'lganda qatlam yuza birligiga ta'sir qiluvchi kuchga teng.

$$\eta = \frac{-\Delta F}{\Delta S \cdot \frac{dv}{dx}}$$

$$\text{yoki } \eta = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot \left| \frac{dv}{dx} \right| \Delta t}$$

Ichki ishqalanish sababli gaz (yoki suyuqlik) ning trubadan oqishi uchun biror bosimlar farqi bo'lishi kerak.

$\eta$  – qancha katta bo'lsa,  $\Delta P$  shuncha katta bo'lishi kerak.

**Puayzel formulasi.**  $\Delta P$  bo'lganda  $\Delta t = 1$  sek ko'ndalang kesim yuzasidan oqib o'tgan gaz hajmi  $V = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$ , ya'ni  $V \sim R^4$ ,  $V \sim \Delta P$  va  $V \sim \frac{1}{\eta}$  ekan.

Endi gaz oqimida hosil bo'lgan qovushoqlik kuchi va koeffitsiyentini aniqlaymiz (50-rasm).

$\Delta t = 1$  sek da  $S = 1$  bo'lganda

$$v_1 = \frac{1}{6} n \bar{v}, \text{ chapdan o'ngga } \Delta t$$

vaqtda uzatilgan impuls miqdori

$$K_1 = \frac{1}{6} n \bar{v} m v_1' \cdot \Delta t \cdot \Delta S.$$

O'ngdan chapga

$$K_2 = \frac{1}{6} n \bar{v} m v_2'' \cdot \Delta t \cdot \Delta S \quad \text{impuls}$$

uzatiladi. Uzatilgan S yuza orqali impulslar farqi

$$\Delta K = K_1 - K_2 = \frac{1}{6} n \bar{v} m (v_1' - v_2'') \cdot \Delta t \cdot \Delta S. \text{ Tezliklar farqini tezlik gradiyenti}$$

orqali yozamiz:

$$v_1' - v_2'' = -2\lambda \frac{dv}{dx}$$

$$\Delta K = -\frac{1}{3} n \bar{v} m \lambda \frac{dv}{dx} \cdot \Delta t \cdot \Delta S \text{ ni}$$

$$\Delta K = -\eta \frac{dv}{dx} \cdot \Delta t \cdot \Delta S \text{ ifoda bilan taqqoslaymiz: } F = \frac{\Delta K}{\Delta t}$$

$$\eta = \frac{1}{3} n \bar{v} m \lambda = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda - \text{qovushoqlik koeffitsiyenti.}$$

$$K = \eta \cdot C_V - \text{solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlik.}$$

$D_k = \frac{\eta}{\rho}$  – kinematik qovushoqlik yoki tezlik diffuziya koeffitsiyenti ham deb yuritiladi.

$D_T = \frac{K}{\rho C_V}$  – temperatura oqimi yoki temperatura diffuziya koeffitsiyenti edi.

$[\eta]$  – birliklari  $1 \text{ pz} = 1 \text{ g/cm} \cdot \text{s}$  larda o'lchanadi.

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \cdot \text{sek}^2$$

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1000 \text{ gr} / 100 \text{ cm} \cdot \text{s} = 10 \text{ Pz}. \quad 1 \text{ Pz} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}.$$

§43. Ko'chish koeffitsiyentlari orasidagi munosabat.

1.  $D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v}$  – gazlarda diffuziya koeffitsiyenti.

2.  $K = \frac{1}{3} n \bar{v} \lambda \frac{C_V}{N_A}$  issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;

$$C_V = c_v \cdot \mu = c_v \cdot m \cdot N_0 \text{ desak,}$$

$$K = \frac{1}{3} mn \bar{v} \lambda C_V = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda C_V$$

3.  $\eta = \frac{1}{3} mn \bar{v} \lambda = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda$  – qovushoqlik koeffitsiyenti edi.

a) Issiqlik o'tkazuvchanlik va qovushoqlik koeffitsiyentlari orasidagi munosabat

$$K = \eta \cdot C_V$$

b) Qovushoqlik va diffuziya koeffitsiyentlari orasidagi munosabat

$$\frac{D}{\eta} = \frac{1}{\rho};$$

$$D_k = \frac{\eta}{\rho}$$

yuritiladi.

$\frac{\eta}{\rho}$  – kattalik kinematik qovushoqlik deyiladi.

Kinematik qovushoqlik diffuziya koeffitsiyenti bilan bir xil birlikka ega ekan. Bu tasodifiy emas! Qovushoqlik koeffitsiyenti impuls oqimidir (albatta, bunda tezlik gradiyenti  $\frac{dv}{dx} = 1$  ga teng).

Ikkinchi tomondan  $\rho$  ni  $v$  ga ko'paytmasi hajm birligining impulsidir.

$$\rho v = \frac{L}{V}$$

Shuning uchun  $\eta$  impuls oqimining  $\rho$  zichlikka nisbati tezlik oqimi bo'ladi. Ana shu narsa bizga kinematik qovushoqlik tezligining diffuziya koeffitsiyenti deb atash mumkin bo'ladi.

Diffuziya koeffitsiyenti bilan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlarini taqqoslasak,  $\frac{D}{K} = \frac{1}{\rho C_V}$   $D = \frac{K}{\rho C_V}$  – temperaturaliy o'tkazuvchanlik deyiladi.

$D_T = \frac{K}{\rho C_V}$  ni temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb atagan edik.

$K$  – oqib o'tayotgan issiqlik oqimini bildiradi.

$\rho C_V$  – hajm birligidagi gazning issiqlik sig'imi.

Shuningdek,  $\frac{K}{\rho C_V}$  temperatura gradiyenti 1 ga teng bo'lgandagi temperatura oqimi, ya'ni *temperaturalar diffuziyasi koeffitsiyenti* deyiladi.

Bob yuzasidan nazorat savollar

1. Erkin yugurish yo'li ( $\lambda$ ) deb nimaga aytiladi?
2. To'qnashish deb nimaga aytiladi?
3. Molekulaning effektiv kesimi?
4. To'qnashishlar soni?
5. To'qnashishlar soni  $z$  bilan konsentratsiya orasidagi bog'lanish.
6.  $z$  ning  $T$  ga bog'liqligi.
7.  $\lambda$  ni  $\rho$  ga bog'liqligi.
8.  $z$  ning  $\sigma$  ga bog'liqligi.
9. Effektiv kesimning tezlikka bog'liqligi.
10. Effektiv kesim va ehtimollik.
11. Vakuum nima?
12. Vakuumda molekulalar harakati qanday o'zgaradi?
13. Reynolds soni.
14. Issiqlik nima?
15. Temperatura nima?
16. Temperatura gradiyenti deb nimaga aytiladi?
17. Issiqlik oqimi deb nimaga aytiladi?
18. Furrye tenglamasini yozing va uni tushuntiring.
19. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
20. Issiqlik o'tkazuvchanlik turlari va mexanizmlarini tushuntiring.
21. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining birligini keltirib chiqaring.
22. Videman – Frants qonunini izohlang.
23. Nostatsionar diffuziya.
24. Nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik.
25. Molekulaning erkin yugurish yili va to'qnashishlar soni orasidagi munosabat.
26. Qovushog'lik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
27. Kinematik qovushoqlik nimaga teng?
28. Temperaturaliy o'tkazuvchanlik nima?

#### IV BOB. REAL GAZLAR. VAN-DER-VAALS TENGLAMASI

##### §44. Real gazlar. Gazlar xossalari ning ideallikdan chetga chiqishi

Biz ko'rgan fizik hodisalar ideal gazlar uchun o'rinli edi yoki shu real gazlarning ideal gaz shartlariga bo'ysunuvchi chegaralangan sharoitlarda o'rinli edi. Lekin bu qonunlar faqat "kichik" chegaralanmagan sharoitlardagina o'rinli bo'lib, uning keng qo'llanish chegarasida yoki taxminiy bajarilishi mumkin, yoki umuman bajarilmasligi mumkin.

Klapeyron tenglamasi ham taqribiy tenglamadir. Bu kichik bosim va temperaturalar intervalida o'rinlidir. Demak, Gey-Lyussak, Sharl, Boyle-Mariott qonunlari ham shunday.

Masalan, 1 mol azot  $0^{\circ}\text{C}$  da  $P = 1 \text{ atm}$ . da  $V = 22,4 \text{ l}$ .  $PV = 224 \cdot 10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{m}^3$ ,  $P = 100 \text{ atm}$ . da  $V = 2,4 \text{ l}$ .  $PV = 240 \cdot 10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{m}^3$ , ya'ni 100 atm. da  $PV$  7% ga o'zgaradi. 500 atm. da  $PV = 255$  dir. Demak,  $P \rightarrow$  bilan  $PV \rightarrow$  ortib bormoqda. Lekin, Mendeleyev-Klapeyron tenglamasiga asosan  $T = \text{const}$  bo'lsa,  $PV = \text{const}$  bo'lishi kerak edi. Keltirilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, real gazlar ideal gazlarga nisbatan kamroq siqilar ekan.

Gazlarning siqiluvchanlik koeffitsiyenti  $\chi_z = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = -\frac{1}{P}$ , amalda  $\frac{1}{P}$

sekinroq kamayar ekan, ya'ni  $\chi_i < \frac{1}{P}$ .

Sababi: a) molekullar o'zaro ta'sirlashadi;

b) molekullar xususiy hajmga ega. Ularning erkin harakat hajmi  $V-b$  bo'ladi:  $b \neq 0$ . Molekula diametri  $d \sim 10^{-10} \text{ m}$  tartibda.

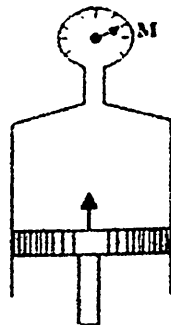
Normal sharoitda  $r > 10 d$  va  $V > 2000 b$ .

Bunday sharoitda albatta  $r \gg d$ ,  $V \gg b$  bo'lgani uchun  $f \approx 0$  ( $f_r \approx f_{im} \approx 0$ )

va  $b \approx 0$  degan edik. Haqiqatdan ham shunday bo'lish mumkinligi tajribalardan ma'lum.

##### §45. Gazlarning suyulishi (kondensatsiya)

Gazlar siqilganda gaz holatidan suyuq holatga o'tishi mumkin. Bu holni ideal gaz qonuni bilan



51- rasm

tushuntirib bo'lmaydi.  $T = \text{const}$  bo'lsin.  $P \rightarrow$  bilan  $\rho \rightarrow$ . Buning uchun porshen bilan silindrdagi gazni siqib, gaz bosimini hajmga bogliqligini tajribada ko'ramiz (51 - rasm). Izotermik egri shizig'ini (52 - rasm) da keltirilgan.

a)  $AB$  da  $P \sim \frac{1}{V}$  bo'ladi. Boyle-Mariott qonuni bajariladi.  $AV$ -ideal gaz sohasiga mos keladi.

b)  $BC$  da  $P = \text{const}$  bo'lib porshenda tomchilar hosil bo'la boshlaydi.  $P \rightarrow$  bilan suyuqlik miqdori oshib boradi, gaz miqdori kamayadi. Lekin  $P = \text{const}$ .

v)  $CD$  - hajmini oz o'zgartirish uchun bosimni katta miqdorga o'zgartirish kerak, bu suyuqlik! Bu jarayon izotermasi rasmdagidek bo'ladi! Grafikning  $BC$  qismi ( $P, V$ ) da to'yingan bug, holati bo'ladi. Hajmning bir qismi gaz-bug, ikkinchi qismi suyuqlik bilan band.  $P_{BC}$  - to'yingan bug, bosimi yoki to'yingan bug, elastikligi deyiladi:

$P_{\text{to'ybug,}} V$  ga bog'liq emas.

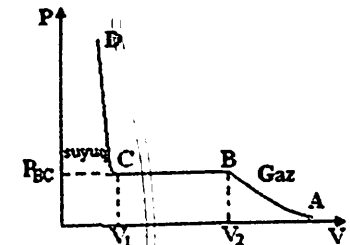
Temperatura oshishi bilan  $V_{\text{suyuq}}$  va  $V_{\text{gaz}}$  nisbatlari o'zgarib boradi.  $T \rightarrow \rho_b \rightarrow$ .

$T \rightarrow \rho_{\text{suyuq}} \leftarrow, \frac{\mu}{V_1} \leftarrow, \rho_{\text{bug,}} \rightarrow \frac{\mu}{V_2} \rightarrow$

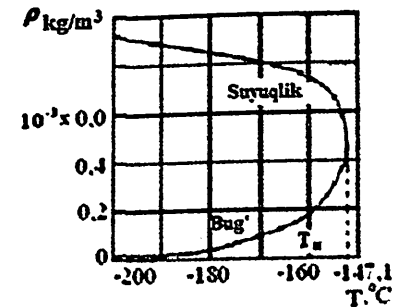
Biror temperaturada  $\rho_b = \rho_s$  bo'ladi (53-rasm). Masalan, suv uchun  $T = 647,3 \text{ K}$ .

$T > 647,3 \text{ K}$  da suv bug,ini o'zini xuddi gazdek tutadi,  $< 647,3 \text{ K}$  da suyuq va gazsimon holatlar mavjud bo'ladi.  $\rho_b \geq \rho_s$  bo'lishi mumkin, faqat  $T > 647,3 \text{ K}$  da. Demak, bunday holat boshqa moddalar uchun ham o'rinlidir.

Har bir modda uchun suyuqlik va gaz (suyuqlik bug,ini) orasida farq qolmaydigan biror temperatura mavjuddir, bundan yuqori temperaturalarda modda har qancha



52- rasm



53- rasm

qisilsa ham bir jinsli boʻlib qoladi. Bu temperatura *kritik temperatura* deyiladi.

Har bir modda uchun oʻzining kritik temperaturasi mavjud.

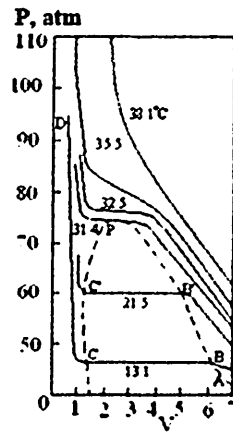
Masalan:  $H_2O$  uchun  $T_k=647,3 K$ ,

$N_2$  uchun  $T_k=126 K$ ,

$O_2$  uchun  $T_k=154,3 K$ ,

Eng kichik kritik temperatura  $T_k$  geliyning eng kam uchraydigan izotopi  $He^3$  uchundir. Bu koʻrsatkich  $3,25 K$  yoki  $-269,80^\circ C$  ga teng.  $CO_2$  uchun Endryus izotermalarini tekshirdi.  $\chi_{suyuq} \ll \chi_{gaz}$ . Temperatura oshsa, suyuqlikning solishtirma hajmi kamayadi, gazning hajmi esa ortadi.  $T=T_k$ ,  $V_c \approx V_g$ . Bu ham,  $CO_2$  uchun  $t_k=31,4^\circ C$  ekan. Bu  $t_k$  dagi izoterma, kritik izoterma deyiladi.  $t > t_k$  suyuqlik boʻlmaydi.

Kritik temperaturaga mos kelgan solishtirma (molyar hajm) *kritik hajm* deb yuritiladi. Toʻyingan bugʻning kritik temperaturadagi bosimi *kritik bosim* deb ataladi.  $P_k$ ,  $V_k$  va  $T_k$  – kritik holatlarni xarakterlaydi.



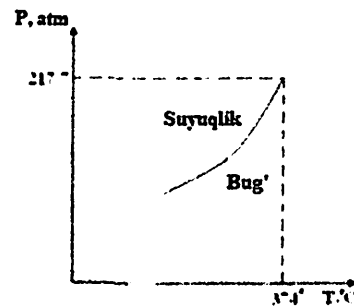
54- rasm

#### §46. Fazaviy oʻtish. Fazaviy diagrammalar

Gazning kondensatsiya misolida oʻzgarmas temperaturada, oʻzgarmas bosimda ayni moddaning ikki holati mavjud ekan (suyuqlik va gaz). Ularning zichliklari bilan bir-biridan farq qiladi (55 - rasm).

Agar sistema fizikaviy jihatdan turli holatda boʻlgan va bir-biridan ajralib turuvchi bir jinsli qismlarga boʻlinsa, bu qismlar uning *fazalari* deb ataladi.

Agar berilgan  $P$  va  $T$  da uning



55- rasm

fazalari bir-biriga tegib tursa, u yoki bu fazasi oʻzmasa, moddaning bunday holatiga *fazaviy muvozanat* deyiladi.

Bir holatdan ikkinchi holatga oʻtishi *fazaviy oʻtish* yoki *fazaviy aylanish* deyiladi.

Masalan,  $G \rightarrow S$  yoki  $S \rightarrow G$  56-rasmda

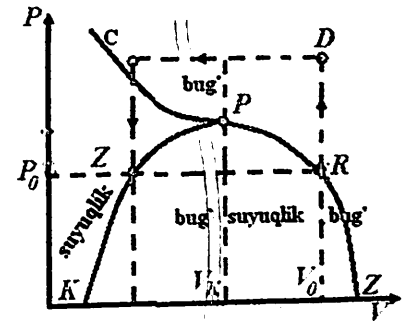
$RZ$  – sohasi – bugʻ, (gaz),

$KC$  – suyuq,

$KPZ$  – ichida yotgan sohada ikkita faza mavjud.

$P$  nuqtada  $T_k$  – kritik holat boʻladi.

- 1) Agar  $T > T_k$ , uni siqib suyuqlikka aylantirib boʻlmaydi. Uni dastlab sovutish kerak.
- 2)  $T < T_k$ , uni siqsak, shu  $KPZ$  sohasi orqali ikki fazali bosqich orqali suyultirish mumkin.
- 3)  $KPZ$  sohani chetlab  $G \rightarrow S$  (gazni suyuqlikka) aylantirish mumkin. Masalan,  $P_0 V_0$  dan (qizdiramiz)  $T \rightarrow T > T_k$  gacha, soʻng siqamiz va sovutamiz.  $R \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow Z$  oʻtish.



56- rasm

Demak, ikki fazali sohani "chetlab oʻtdik". Temperatura oshishi, fazaviy muvozanatning siljishiga sabab boʻladi.  $T \rightarrow$ ,  $P \rightarrow$ , yaʼni bugʻning elastikligini oshishiga olib keladi. Chap soha suyuqlik fazasining, oʻng soha gaz fazasida moddaning boʻlishini koʻrsatadi. Faqat egri chiziq ustida yotgan  $P$  va  $T$  qiymatlaridagina fazaviy muvozanat vujudga keladi.

Nuqtalari fazalarning muvozanatiga mos keluvchi egri chiziq *fazaviy diagramma* yoki *fazalarning muvozanat egri chizigʻi* deb ataladi. Bu egri chiziq nuqtalari moddaning bir fazali holatlariga mos keluvchi sohalarini ajratib turadi va moddaning muhim koordinatalaridan biridir (55-rasm).

Bunday diagrammalarni baʼzida *holat diagrammalari* deb ataladi.

### §47. Van-der-Vaals tenglamasi.

Katta bosimlardagi gaz holatida, gazni suyuqlikka aylanishini ( $G \rightarrow S$ ), Mendeleyev – Klapeyron tenglamasi bilan tushuntirib bo'lmaydi. Biroq,  $f \neq 0$ ,  $d \neq 0$  desak, tenglamaga tuzatmalar kiritish mumkin. Bunday tuzatmani birinchi Van-der-Vaals 1873-yilda amalga oshirdi. Lekin uning tenglamasi ham taxminiy tenglamadir. Sababi, molekular orasidagi kuchlarni hisoblashning hozirgacha aniq metodi yo'q.

1. Molekular orasidagi itarishish kuchlarini hisobga olish.

1 mol ideal gaz uchun  $PV = RT$ . Molekulalarning "xususiy hajmi"  $b_0$  bo'lsa, unda  $P(V - b) = RT$ ,  $P = \infty$  da.

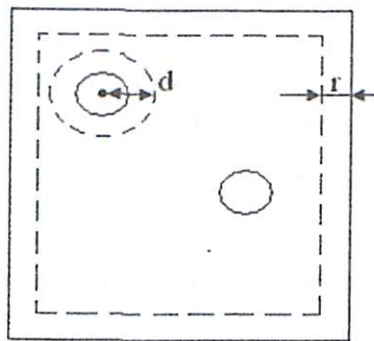
$V = b = 4b_0$ . U holda  $P = \frac{RT}{V - b}$ , bu

erda  $b_0$  – xususiy hajm.

2.  $b$  ni hisoblash.

$P$  ortib juda katta bo'lganda ham  $V \neq b_0$  bo'ladi. Sababi, molekular bir-biri bilan cheksiz yaqinlashadi. Lekin bir-biriga tegmaydi, sababi, o'zaro itarishish kuchlari mavjud. Bu minimal masofa molekulaning o'lchami degan tushuncha bilan ataladigan masofadir. Demak,  $b$  itarishish kuchlarning xarakteristikasidir. Kubning

hajmi  $V$ , tomonlari  $\sqrt[3]{V}$  ga teng. Molekulalarning diametri  $d$ , radiusi  $r = \frac{d}{2}$  bo'lsa, hajmda bitta molekula bo'lsa, u devorga  $r$  masofagacha yaqinlashadi,  $r$  dan kichik masofaga yaqinlasha olmaydi. Demak, molekulaning erkin harakat qilishi uchun mavjud bo'lgan kubning tomoni  $\sqrt[3]{V} - d$ , hajmi  $(\sqrt[3]{V} - d)^3$  bo'ladi. Idishga ikkinchi molekulani kiritaylik. U holda molekularning harakati uchun  $(\sqrt[3]{V} - d)^3 - \frac{4}{3}\pi d^3$ , sababi  $r^3$  emas,  $d^3$ , chunki  $R = r + r' = 2r = d$  bo'ladi. Agar ikkita molekula kiritsak,



57- rasm

fazalari bir-biriga tegib tursa, u yoki bu fazasi o'smasa, moddaning bunday holatiga *fazaviy muvozanat* deyiladi.

Bir holatdan ikkinchi holatga o'tishi *fazaviy o'tish* yoki *fazaviy aylanish* deyiladi.

Masalan,  $G \rightarrow S$  yoki  $S \rightarrow G$  56-rasmda

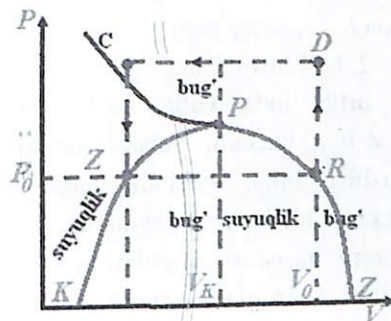
$RZ$  – sohasi – bug' (gaz),

$KC$  – suyuq,

$KPZ$  – ichida yotgan sohada ikkita faza mavjud.

$P$  nuqtada  $T_k$  – kritik holat bo'ladi.

- 1) Agar  $T > T_k$ , uni siqib suyuqlikka aylantirib bo'lmaydi. Uni dastlab sovutish kerak.
- 2)  $T < T_k$ , uni siqsak, shu  $KPZ$  sohasi orqali ikki fazali bosqich orqali suyultirish mumkin.
- 3)  $KPZ$  sohani chetlab  $G \rightarrow S$  (gazni suyuqlikka) aylantirish mumkin. Masalan,  $P_0 V_0$  dan (qizdiramiz)  $T \rightarrow T > T_k$  gacha, so'ng siqamiz va sovutamiz.  $R \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow Z$  o'tish.



56- rasm

Demak, ikki fazali sohani "chetlab o'tdik". Temperatura oshishi, fazaviy muvozanatning siljishiga sabab bo'ladi.  $T \rightarrow$ ,  $P \rightarrow$ , ya'ni bug'ning elastikligini oshishiga olib keladi. Chap soha suyuqlik fazasining, o'ng soha gaz fazasida moddaning bo'lishini ko'rsatadi. Faqat egri chiziq ustida yotgan  $P$  va  $T$  qiymatlaridagina fazaviy muvozanat vujudga keladi.

Nuqtalari fazalarning muvozanatiga mos keluvchi egri chiziq *fazaviy diagramma* yoki *fazalarning muvozanat* egri chizig'i deb ataladi. Bu egri chiziq nuqtalari moddaning bir fazali holatlariga mos keluvchi sohalarini ajratib turadi va moddaning muhim koordinatalaridan biridir (55-rasm).

Bunday diagrammalarni ba'zida *holat diagrammalari* deb ataladi.

### §47. Van-der-Vaals tenglamasi.

Katta bosimlardagi gaz holatida, gazni suyuqlikka aylanishini ( $G \rightarrow S$ ), Mendeleyev – Klapeyron tenglamasi bilan tushuntirib bo'lmaydi. Biroq,  $f \neq 0$ ,  $d \neq 0$  desak, tenglamaga tuzatmalar kiritish mumkin. Bunday tuzatmani birinchi Van-der-Vaals 1873-yilda amalga oshirdi. Lekin uning tenglamasi ham taxminiy tenglamadir. Sababi, molekular orasidagi kuchlarni hisoblashning hozirgacha aniq metodi yo'q.

1. Molekulalar orasidagi itarishish kuchlarini hisobga olish.

1 mol ideal gaz uchun  $PV = RT$ . Molekulalarning "xususiy hajmi"  $b_0$  bo'lsa, unda  $P(V - b) = RT$ ,  $P = \infty$  da.

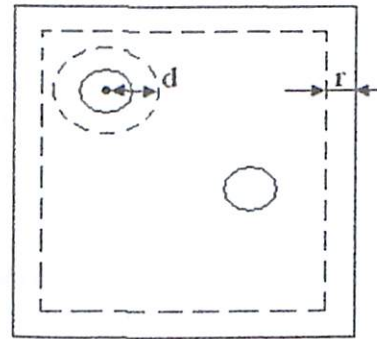
$V = b = 4b_0$ . U holda  $P = \frac{RT}{V - b}$ , bu

erda  $b_0$  - xususiy hajm.

2.  $b$  ni hisoblash.

$P$  ortib juda katta bo'lganda ham  $V \neq b_0$  bo'ladi. Sababi, molekular bir-biri bilan cheksiz yaqinlashadi. Lekin bir-biriga tegmaydi, sababi, o'zaro itarishish kuchlari mavjud. Bu minimal masofa molekulaning o'lchami degan tushuncha bilan ataladigan masofadir. Demak,  $b$  itarishish kuchlarning xarakteristikasidir. Kubning

hajmi  $V$ , tomonlari  $\sqrt[3]{V}$  ga teng. Molekulalarning diametri  $d$ , radiusi  $r = \frac{d}{2}$  bo'lsa, hajmda bitta molekula bo'lsa, u devorga  $r$  masofagacha yaqinlashadi,  $r$  dan kichik masofaga yaqinlasha olmaydi. Demak, molekulaning erkin harakat qilishi uchun mavjud bo'lgan kubning tomoni  $\sqrt[3]{V} - d$ , hajmi  $(\sqrt[3]{V} - d)^3$  bo'ladi. Idishga ikkinchi molekulani kiritaylik. U holda molekularning harakati uchun  $(\sqrt[3]{V} - d)^3 - \frac{4}{3}\pi d^3$ , sababi  $r^3$  emas,  $d^3$ , chunki  $R = r + r' = 2r = d$  bo'ladi. Agar ikkita molekula kiritsak,



57- rasm

$(\sqrt[3]{V} - d)^3 - 2 \cdot \frac{4}{3}\pi d^3$  bo'ladi, agar  $N_A$  ta molekula kiritsak, ya'ni 1 mol gaz

kiritilsa,  $V' = (\sqrt[3]{V} - d)^3 - N_A \cdot \frac{4}{3}\pi d^3$  bo'ladi.

Lekin bitta to'qnashishda ikkita molekula qatnashadi va yaqinlashish zonasi har ikkita molekula uchun bitta. Shuning uchun

$$V' = (\sqrt[3]{V} - d)^3 - \frac{N_A}{2} \cdot \frac{4}{3}\pi d^3,$$

$$V' = V - 3\sqrt[3]{V} \cdot d + 3\sqrt[3]{V} \cdot d^2 - d^3 - N_A \cdot \frac{2}{3}\pi d^3 \text{ ekan.}$$

$$d, d^2, \text{ va } d^3 \approx 0 \text{ deb hisoblasak, } V' \approx V - \frac{N_A}{2} \cdot \frac{2}{3}\pi d^3 \approx V - N_A \cdot \frac{16}{3}\pi r^3.$$

$$V' = V - b \text{ edi. } b = \frac{16}{3}\pi r^3 N_A = 4b_0 N_A.$$

$$\text{Demak, } b \approx 4V_{\text{vol}} = 4b_0.$$

Agar  $P = \infty$  molekular "taxlanishi" kerak va  $b$  ga teng bo'lishi kerak. Holbuki, molekula hajmidan  $b$  4 marta katta. Demak, molekular orasidagi ta'sir kuchlari natijasida  $b = 4b_0$  bo'lar ekan.

**Molekulalarning orasidagi tortishish kuchlarini hisobga olish.**

$f_{\text{ort}}$  mavjud bo'lishi  $P_{\text{real}} < P_{\text{ideal}}$  bo'lishiga olib keladi. Qo'shni molekularning tortishish kuchi molekulani devorga beradigan bosimini  $\Delta P$  ga kamaytiradi (58-rasm).

$$P = \frac{RT}{V'} - \Delta P \quad P = \frac{RT}{V - b} - \Delta P \quad \text{yoki}$$

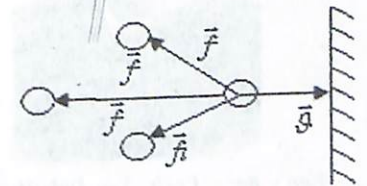
$$P + \Delta P = \frac{RT}{V - b} \quad \text{bo'ladi. Molekular}$$

orasidagi tortishish kuchlari ham molekularni o'zaro yaqinlashtirishga intiladi. Endi,  $\Delta P$  ni aniqlaymiz:

$$\Delta P \sim n \quad \frac{F \cdot \Delta t}{\Delta S \cdot \Delta t} = P \text{ edi.}$$

$$F_{\text{moy}} \sim n^2 \text{ bo'lgani uchun } \Delta P \sim n^2 \text{ va } \Delta P = \frac{a}{V^2} \text{ deymiz, sababi } n^2 \sim \frac{1}{V^2}. \text{ Bu}$$

yerda  $a$  - proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, molekular orasidagi tortishish kuchlarni xarakterlaydi. Hozirgi vaqtda  $a$  ni hisoblashning aniq



58- rasm

usuli yo,ql! Shunday qilib,  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right) = \frac{RT}{V-b}$ .

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

Bu tenglamada  $\frac{a}{V^2}$  – tortishish kuchlariga va  $b$  – itarishish kuchlariga tuzatmalar,  $b = \frac{16}{3} \pi r^3 N_A$ . Bu tenglama *Van-der-Vals tenglamasi* deyiladi.

$\frac{M}{\mu}$  – mol gaz uchun holat tenglamasi  $\left(P + \frac{M^2 a}{\mu^2 V^2}\right) \left(V - \frac{M}{\mu} b\right) = \frac{M}{\mu} RT$  bo,ldi.

$a$  va  $b$  gazlarning turiga bog,liqdir. Shuning uchun  $a$  va  $b = const$  lar har xil gazlar uchun har xil bo,lgani uchun u tenglama universal tenglama emas.

#### §48. Van-der-Vaals izotermalari



*Van-der-Vaals, Yan Diderik* (1837 – 1923) – gollandiyalik fizik. Nobel mukofotining laureati, gaz va suyuqliklar holat tenglamasini fanga kiritdi (1873), bu tenglama uning nomi bilan ataladi. Kapilyarlikning termodinamik nazariyasini rivojlantirdi.

1 mol gaz uchun Van-der-Vals tenglamasi

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = RT \quad (1) \text{ ko,rinishda}$$

ifodalangan edi. (1) ni  $V^2$  ga ko,paytirib yozamiz:

$$(PV^2 + a)(V-b) = RTV^2$$

$$PV^3 - (bP + RT)V^2 + aV - ab = 0 \quad \left| \frac{1}{P} \right.$$

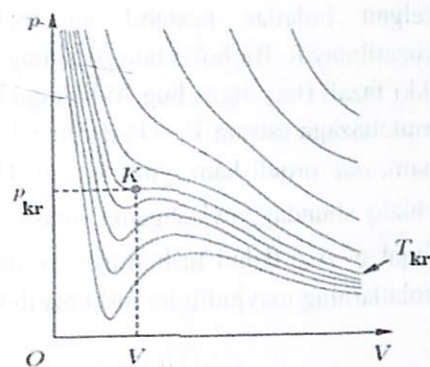
$$V^3 - \left(b + \frac{RT}{P}\right)V^2 + \frac{a}{P}V - \frac{ab}{P} = 0 \quad (2)$$

Bu tenglama  $V$  ga nisbatan uchinchi darajali tenglamadir, ya'ni uning uchta ildizi bor. Demak, berilgan bosim va temperaturaning berilgan shu qiymatlarida molyar zichligini uch qiymati bo,ldi. Bu

hajmning uch qiymati, yoki gaz tenglamalarning uch ildizi haqiqiy, yoki 1-haqiqiy, 2-mavhum yoki

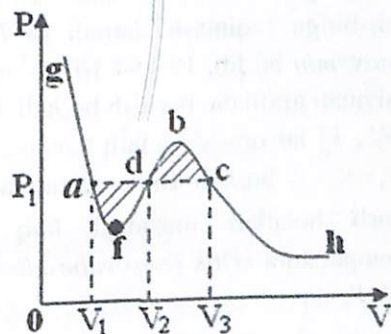
boshqacha bo,lishi mumkin. Yoki uchta ildizi bir xil bo,lishi mumkin. Lekin, Van-der-Vals tenglamasining mavhum ildizlari fizik ma'no ega emas. Shuning uchun  $P$  bosimning  $V$  molyar hajmga bog,liqligi

izotermasiga qarab uni tajribadan olingan izotermalar bilan solishtiramiz. Ideal gaz izotermasi giperbola edi, bunda esa (2) ga binoan izoterma murakkab ko,rinishga ega bo,ldi (59-rasm).  $P_1$  ning bitta qiymatiga  $V_1, V_2, V_3$  – uchta qiymat to,ngri keladi.  $V_{min}$  – suyuq holat,  $V_{max} = V_3$  – gaz holat bo,ldi (60-rasm). Endi  $V_2$  ning fizik ma'nosini topish kerak! Tajribadan esa Van-der-Vaals



59- rasm

izotermalari ko,rinishi boshqacha, soddaroq bo,ldi. *ag, hc* – uchlari tajribada olingan izoterma bilan ustma-ust tushadi. *ag* – suyuq, *hc* – gazsimon holatda. Lekin uchinchi faza, *b* nuqta, *d* nuqta, *f* nuqta tajribada kuzatilmaydi. Amalda *abd* – holat bo,lishi mumkin emas!  $P \rightarrow$  bilan  $V \rightarrow$  mumkin emas. Bosim  $P$  ortganda moddaning zichligini kamayishi mumkin emas. Ammo, ba'zi bir sharoitlarda tasodifiy  $V$  hajmning kichik o,zgarishi natijasida  $V \rightarrow, P \rightarrow$ , lekin u *d* holatda bo,lsa, *f* holatga qaytadi. Lekin *cbdfa* holatlar orqali o,tish kuzatilmay *adc* o,tish kuzatiladi. *cd* da – modda gazsimon bo,ldi. Lekin bu holda  $P > P_{to'y.bug'}$  (berilgan  $T$  uchun) bosimdan katta bo,ldi.



60- rasm

Bu narsa g,ayritabiiydir. Lekin bunday holat suv bug,i bo,lgan idishda tez sovitilganda, u suyuqlikka aylanmay, uzoq vaqt gazsimon holatda qoladi. Bu qismda  $P > P_{to'y.bug'}$ . Bunday bug,, o,ta to,yingan yoki o,ta sovugan bug,, deb aytiladi. *af ag* egri chiziq qismining davomi bo,lib, o'ta

qizigan suyuqlik deyiladi. Bu ochiq emas, balki yopiq idishda qaynamagan suyuqlik uchun o'rinlidir.  $af$  va  $cd$  ga mos keluvchi holatlar  $fb$  dagi holatlarga nisbatan *metastabil holatlar* deb ataladi.  $V_2$  - holatiga mos kelgan holatlar *nostabil* va *metastabil* bo'lgani uchun tajribada kuzatilmaydi. Bu holat bug, o'zining suyuqligi bilan muvozanatda bo'lgan ikki fazali (to'yingan bug,li) holatga to'g'ri keladi. Umumiy termodinamik mulohazaga asosan  $V_1 \rightarrow V_3$  da bir xil ish bajaradi. Agar  $afdbc$  orqali bo'lsa ham,  $adc$  orqali ham, yuza bir xil. Demak,  $P(V)$  bog'lanishda  $S_1 = S_2$ .  $ac$  chiziq shunday joylashganki, unda  $\Delta S_1 = \Delta S_2$ . Van-der-Vaals tenglamasi faqat  $g \rightarrow s$  o'tishni tushuntirib qolmay, balki kritik temperatura va kritik holatlarning mavjudligini tushuntirib beradi.

#### §49. Kritik temperatura va kritik holat

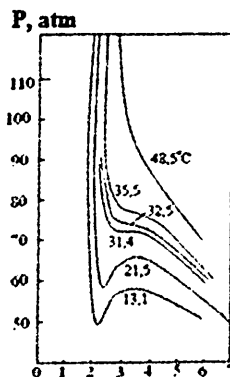
Van-der-Vaals izotermalarini temperaturaga bog'liqligini ko'raylik. Yana  $CO_2$  izotermalarini ko'raylik. Bu izotermalar  $a=3,6 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$  va  $b=42,8 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$  qiymatlar uchun hisoblangan.

Bu konstantalar tajribada quyidagicha aniqlangan. Grafikdagi *max* va *min* lar  $T \rightarrow$  bilan bir-biriga yaqinlasha boradi va  $T=T_k=31,4^\circ\text{C}$  da  $max=min$  bo'lib,  $V=0,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{mol}$  va  $P=73 \text{ atm}$  qiymati grafikda burilish bo'ladi. Demak,  $T \rightarrow, V_1, V_2, V_3$  lar orasidagi farq kamaya boradi.  $T=T_k$  da  $V_1=V_2=V_3$  bo'ladi. Bu temperaturada moddalarning turli holatlari orasidagi farq yo'qoladi. Bu temperatura *kritik temperaturadir!* Demak,  $T=T_k, P=P_k$  da

$$V^3 - \left( b + \frac{RT_k}{P_k} \right) V^2 + \frac{a}{P_k} V - \frac{ab}{P_k} = 0 \quad (1)$$

ifoda aniq kub tenglama bo'lishi kerak. U holda  $(V-V_k)^3 = 0$  (2), ya'ni  $V_1=V_2=V_3=V_k$ .  $V_k$  ni aniqlashimiz kerak. Uning uchun (1) va (2) tenglamalarni taqqoslaymiz:

$$V^3 - \left( b + \frac{RT_k}{P_k} \right) V^2 + \frac{a}{P_k} V - \frac{ab}{P_k} = V^3 - 3V_k V^2 + 3V_k^2 V - V_k^3 = 0 \quad (3)$$



61- rasm

Buning o'rinli bo'lishi uchun, mos ravishda, (1) va (3) dagi koeffitsiyentlar o'zaro teng bo'lishi kerak:

$$\left. \begin{aligned} b + \frac{RT_k}{P_k} &= 3V_k \\ \frac{a}{P_k} &= 3V_k^2 \\ \frac{a}{P_k} b &= V_k^3 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(3)- ni (2) tenglamaga bo'lsak,

$$b = \frac{V_k}{3}; \quad V_k = 3b; \quad (5) \quad P_k = \frac{a}{3V_k^2} = \frac{a}{27b^2}; \quad (6) \quad b + R \cdot \frac{T_k}{a} = 9b; \quad 27b^2 RT_k = 8ab;$$

$$P_k = \frac{a}{27b^2} \text{ va } T_k = \frac{8a}{27bR} \quad (7)$$

Van-der-Vaals tenglamasini matematik tahlil qilib, ya'ni birinchi va ikkinchi tartibli hosilalarini olib, tenglama grafigini tahlil qilish mumkin. Van-der-Vaals tenglamasini yanada batafsil matematik analiz qilib, shu ko'rinishdagi xulosaga kelish mumkin. Buning uchun

$$\left( P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT \text{ ni } P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2} \quad (6) \text{ deb yozish mumkin.}$$

$max$  va  $min$  ga to'g'ri keluvchi izotermaning qiymatlari uchun  $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$

bo'ladi.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3} = \frac{2a}{(V-b)^2} \left[ \frac{(V-b)^2}{V^3} - \frac{RT}{2a} \right] = 0$$

Buning uchun  $\left[ \frac{(V-b)^2}{V^3} - \frac{RT}{2a} \right] = 0$  bo'lishi kerak, ya'ni  $\frac{(V-b)^2}{V^3} = \frac{RT}{2a}$  (7)

Bu tenglama kub tenglamadir, ya'ni har qanday izoterma uchun  $V$  ning  $max$  va  $min$  dan o'tuvchi uchta qiymati bordir. Bunda  $V_1$   $max$  ga,  $V_2$   $min$  ga tegishlidir. Uchinchi qiymati shuki, unda uchinchi ekstremumga kelganda  $V < b$  bo'lishi kerak, bu esa umumiy ma'noga ega emas.

$T=T_k$  da izotermaning  $max$  va  $min$  birlashib ketganini va ularning birlashgan nuqtasida egri chiziq burilish nuqtasi bo'lishini, ya'ni bu nuqtada ikkinchi hosila ham nolga aylanishidan ko'rish mumkin. Buni talabat mustaqil ravishda isbot qilishi tavsiya qilinadi.

### §50. Van-der Vaals tenglamasi konstantalarini eksperimental aniqlash

Konstantalarni aniqlash usullari:

a)  $a$  va  $b$  konstantalarni  $P_k = \frac{a}{27b^2}$ ;  $V_k = 3b$  va  $T_k = \frac{8a}{27bR}$  tenglamalardan hisoblash mumkin. Laboratoriya ishidagi suyuqliklar solingan ampula qizdirilib, undagi meniskning yo'qolishi  $T_k$ ,  $P_k$  berilgan  $V=V_k$  uchun aniqlanadi.

b)  $a$  va  $b$  larni aniqroq topish yo'li o'zgarimas hajmda ( $V = \text{const}$ )  $P$  ni  $T$  ga bog'lanishining o'lchashdan iborat.  $P = f(T)$  dan  $V = \text{const}$  aniqlanadi va egri chiziqdan  $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$  ni topamiz.

Van-der-Vaals tenglamasidan  $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{R}{V-b}$  ga teng bu yerda  $R$ -gazlarning universal doimiysi. Ular quyidagi tenglamalardan aniqlanadi:

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

$$a = V^2 \left[ \frac{RT}{V-b} - P \right] = \left[ T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] V^2$$

$V$  kattalik molyar hajmni beradi.

Agar umumiy hajm  $V_0$  bo'lsa,  $V_0 = \frac{m}{\mu} V$ ;  $V = \frac{\mu}{m} V_0$ .

Agar bosim kichik bo'lsa, unda Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi bajariladi va unda Van-der-Vaals kattaliklarni aniqlash qiyin ( $a, b$  kichik).  $PV = RT$ . U holda  $\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{R}{V}$  bo'lishi mumkin va bunda chetlashish bo'lmashligi mumkin.

### §51. Van-der Vaals tenglamasini tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslash

Van-der Vaals tenglamasi  $R, T$  o'zgaranda gaz zichligining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan asosiy hodisalarni tushuntirib berishiga qaramay, bu tenglamadan ancha muhim chetlashishlar mavjud.

Avvalo 1)  $a$  va  $b = \text{const}$  bo'lmay, ular temperaturaga bog'liq ekan:  $a, b \sim T$ . Hamma temperaturalarda Van-der-Vaals izotermalari tajribada olingan izotermalar bilan ustma-ust tushmaydi. Nazariy hisoblasak:

$$\frac{RT_k}{P_k V_k} = \frac{R \cdot \frac{8a}{27Rb}}{\frac{a}{27b^2} \cdot 3b} = \frac{8}{3} \approx 2,67 \text{ ekan.}$$

Bu nisbat nazariy olganda moddalarning tabiatiga bog'liq bo'lmay, universal kattalikdir.

2) Tajribada esa ko'p moddalar uchun  $\frac{RT_k}{P_k V_k} \approx 3,7$  ga teng bo'lishi isbotlandi.

3) Va nihoyat, tajribalar  $V_k = 3b$  munosabat o'rniga  $V_k = 2b$  tenglik ancha yaxshi bajarilishini ko'rsatdi! Demak, Van-der-Vaals tenglamasi real gazlarni chegaralangan intervallardagina xarakterlaydi va hamma vaqt aniq holatni ifodalamaydi, balki umumiy qonuniyatnigina xarakterlaydi. Hozirgi vaqtda real gaz holatini qator ko'rinishidagi yanada umumiyroq tenglama bilan tavsiflash qabul qilingan:

$$PV = RT + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \dots$$

Bu hol  $\frac{1}{V}$  bo'yicha qatorga yoyilgan (yoki zichlik bo'yicha),  $B, C, D$  - tajribada aniqlanadigan *varial koeffitsiyentlar*dir. Agar birinchi ikki had bilan chegaralansak, bu tenglama Van-der-Vaals tenglamasiga aylanadi:

$$B = V(PV - RT)$$

Agar  $\frac{B}{V} \ll 1$  shart bajarilsa,  $\frac{B}{V} = PV - RT$ ,  $PV = RT$  - Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi kelib chiqadi.

### 52.§. Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi. Mos holatlar qonuni

Bir temperaturada turli gazlar uchun izotermalar har xil ko'rinishga ega bo'ladi, chunki  $a$  va  $b$  lar turlicha, demak,  $R_k, V_k, T_k$  lar ham turlicha. 1 mol ideal gaz uchun izotermalar bir xil edi. Shuning uchun real gazlar

uchun ham Van-der-Vaals tenglamasini universal ko'rinishda, ya'ni gazning turiga bog'liq bo'lmaydigan ko'rinishda yozish mumkin.

Buning uchun  $\frac{T}{T_k} = \theta$ ;  $\frac{P}{P_k} = \pi$ ; va  $\frac{V}{V_k} = \omega$  nisbatlar hamma gazlar uchun

bir xil bo'lishi mumkin. Ular:  $\theta$ ,  $\pi$ ,  $\omega$  - moddaning keltirilgan parametrlari (o'lmahamsiz) deyiladi!

Van-der-Vaals tenglamasi

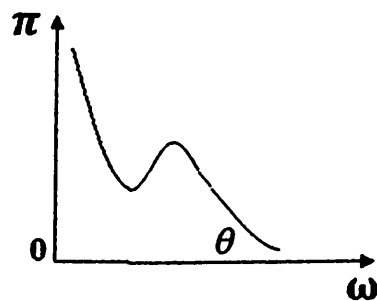
$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT;$$

Agar  $P = \pi P_k$ ,  $V = \omega V_k$ ,  $T = \theta T_k$  desak,

$$\left(\pi P_k + \frac{a}{\omega^2 V_k^2}\right)(\omega V_k - b) = R\theta T_k$$

Bu erda kritik parametrlar:

$$\begin{cases} T_k = \frac{8a}{27bR} \\ V_k = 3b \\ P_k = \frac{a}{27b^2} \end{cases} \text{ edi.}$$



62- rasm

O'rniga qo'ysak,

$$\left(\pi \frac{a}{27b^2} + \frac{a}{\omega^2 9b^2}\right)(\omega 3b - b) = R\theta \frac{8a}{27bR}$$

$$\frac{a}{27b^2} \left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right) 3b \left(\omega - \frac{1}{3}\right) = R\theta \frac{8a}{27bR}$$

Soddalashtirsak,  $\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right) \left(\omega - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\theta$  ko'rinishga keladi.

Tenglamada alohida moddani xarakterlaydigan konstantalar yo'q. Shuning uchun bu tenglama universaldir. Bu real gazning keltirilgan holat tenglamasi deb ataladi. Uning berilgan  $\theta$  uchun grafigi 62-rasmda keltirilgan. Agar shu tenglamada keltirilgan parametrlardan ikkitasi bir xil bo'lsa, u holda moddalarning uchinchi keltirilgan parametrlari ham bir xil bo'ladi. Bu qonun mos holatlar qonuni deyiladi. Agar  $P$  va  $V$  lar o'zaro ularning nisbiy parametrlarining o'zgarishi uchun hamma gazlar uchun bir

xil izotermalar, ya'ni ustma-ust tushgan izotermalar olish mumkin. Noma'lum gaz uchun holat kritik parametrlarini undan aniqlash mumkin.

### §53. Real gazda molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari

Ideal gaz uchun molekular orasidagi o'zaro ta'sir  $F = 0$ ,  $r = d$  da  $F \rightarrow \infty$ ,  $r > d$  da  $F \rightarrow 0$ , bu ideal gaz uchun.

Real gazlardan esa  $F_{it}$  va  $F_t$  kuchlari mavjud bo'lib, ular elektr tabiatiga ega (aniqroq elektromagnit). Lekin bu kuchlarni aniq hisoblash murakkab va bu kvant mexanikasida batafsilroq qaraladi.

$F_{it} \sim \frac{1}{r^n}$  va  $F_t \sim \frac{1}{r^m}$ . Tortish (Van-der-

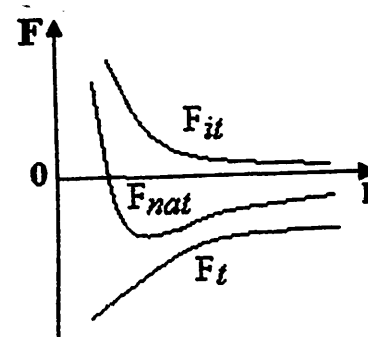
Vaals) kuchlari uchun  $n \approx 7$  bo'ladi,  $F_t \sim \frac{1}{r^7}$ , itarishish kuchlari uchun  $m \sim$

$9 \div 15$ . Tortishish kuchlari ham, itarishish kuchlari ham molekular orasidagi masofa ortishi bilan kamayadi, biroq bu o'zaro itarishish kuchlarida tezroq kamayadi. Demak, itarishish kuchlari molekular bevosita yaqinlashganlaridagina rol o'ynashi mumkin. Ana shuning uchun qattiq sharlar modeli taqriban to'g'ri natijalar beradi.

O'zaro ta'sir potensial energiyasi  $U = -\int F dr$  ifodadan aniqlanadi.

$$\text{Bunda } F = \frac{c_1}{r^n} - \frac{c_2}{r^m}.$$

Uning grafigi 63-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi va bu grafik ko'rinishi standart bo'lib, uning xarakteristik parametrlari har xil bo'ladi, chunki har xil gaz uchun  $C_1$  va  $C_2$  lar har xil bo'ladi. Molekulalarning to'la energiyasi  $E = E_k + U$  bo'ladi, bunda  $U < 0$ . Temperatura ortishi bilan modda molekularining kinetik energiyasi ortadi, uning umumiy energiyasi  $E$  ortadi va ularning muvozanat vaziyatlariga to'g'ri kelgan masofa  $r > r_0$  ortadi, natijada jism (modda) kengayadi.



63- rasm

### §54. Real gazlarning issiqlik sig'imi

Ideal gazlarda molyar (solishtirma) issiqlik sig'imi gazning  $T$  ga va hajm  $V$  ga bog'liq emasligini ko'rgan edik. Bu esa ideal gazning ichki energiyasi uning zichligiga bog'liq bo'lmay, faqat temperaturasiga bog'liq edi. Real gazlarda esa  $U \sim T$  va  $V$  ga bog'liq. Shuning uchun uni ichki energiyasi  $U = \sum E_k + \sum E_n$  ga teng. Demak,  $U = f(T, V)$  (1)

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

Real gazning issiqlik sig'imini hisoblaymiz:

$$dQ = dU + dA \quad (3)$$

$$C = \frac{dU + dA}{dT} \quad (4)$$

Ichki energiya  $dU$  ikki qismdan iborat.

- 1) O'zgarish hajmda faqat temperaturaga bog'liq bo'lgan qismi  $(dU)_h$ ;
- 2) O'zgarish temperaturada faqat hajmning o'zgarishiga bog'liq bo'lgan qismi  $(dU)_r$ .

$$(dU)_h = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r dT \quad \text{va} \quad (dU)_r = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$$

$$\text{Ideal gaz uchun } (dU)_r = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV \quad (5)$$

Issiqlik sig'iminin bu ifodasi barcha izotrop jismlar uchun o'rinlidir.

$dA = PdV$  bo'lgani uchun

$$C_r = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r; \quad dV = 0 \text{ edi.}$$

$$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r + \left[ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_r \quad (6)$$

O'zgarish bosimdagi issiqlik sig'imi

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r + \left[ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = C_r + \left[ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (7)$$

Bu tenglamada faqat  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$  - tajribada o'lchanmaydi.

$$\text{Biroq } \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_r - \text{o'zgarishi } R \text{ ga bog'liq. } \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_r - P \text{ ekan.}$$

(8)

$$(8) \rightarrow (7)$$

$$C_p = C_r + T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_r \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (9)$$

$$\text{Shunga asosan } C_p - C_r = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_r \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (10)$$

Ideal gaz uchun  $PV = RT$  dan  $T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_r \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = R$  ekan.

Real gazlarda  $C_p - C_r$  ayirma  $\sim R$  dan katta farq qilishi mumkin.

Demak, real gazlarning issiqlik sig'imi ( $C_p$  va  $C_v$ ) gaz temperaturasiga va bosimiga bog'liq ekan.

### Bob yuzasidan nazorat savollar

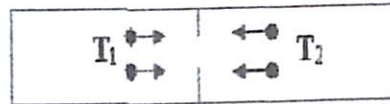
1. Gazlarning suyulishi.  $T_k$ ,  $V_k$ ,  $P_k$  - parametrlar.
2. Real gaz deb nimaga aytiladi?
3. Fazaviy muvozanat deb nimaga aytiladi?
4. Fazaviy o'qish.
5. Fazaviy diagrammalar.
6. Kritik holat deb nimaga aytiladi?
7. Kritik temperatura va kritik holat.
8. Nima uchun har xil suyuqliklar uchun  $T_k$ ,  $V_k$ ,  $P_k$  har xil?
9. Kritik parametrlarni aniqlash metodlari
10. Nima uchun  $T > T_k$  temperaturalarda gazlarni suyultirish mumkin emas?

VI BOB. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI

§55. Muvozanat holatlar

Fizikaning moddaning muvozanat hollardagina beradigan issiqlik harakati bilan bog'liq bo'lgan umumiy xossalarni o'rganuvchi qismi *termodinamika* deb ataladi.

Termodinamikada asosan mexanikaviy ishning issiqlikka, yoxud har qanday energiyaning issiqlikka aylanishi asosiy savollardan biri bo'ladi.



Mexanikada: Muvozanat – jismlarning boshqa jismlarga nisbatan o'zgarmas bo'lgan vaziyatiga aytiladi.

Termodinamikada: Agar sistemaning holatini belgilovchi makroskopik kattaliklari o'zgarmas bo'lsa, sistema termodinamik muvozanatda bo'ladi. Asosiy parametrlar  $P$  va  $T$ , shuning uchun  $P = const$ ,  $T = const$  bo'lganda,  $V = const$ . Bu holda issiqlik o'tkazuvchanlik, diffuziya, kimyaviy reaksiyalar, fazaviy o'tishlar asosan to'xtaydi. Lekin molekullarning issiqlik harakati mavjud bo'ladi. Masalan,  $T_1 \neq T_2$  bo'lsa, sistema termodinamik muvozanatda bo'lmaydi, muvozanatda esa  $T = const$  bo'ladi,  $\sum Q_i = \sum Q_j$  va  $\bar{E}_i = \bar{E}_j$  bo'ladi.

1. Gaz muvozanatda bo'lganda  $P = const$ ,  $T = const$ ,  $\rho = const$ ,  $n = const$  bo'ladi. Lekin  $n_i$  hamma vaqt teng deyish mumkin! Lekin  $\bar{n} - n_i$  ga yaqin va fluktuatsiya mavjud ( $\Delta n \neq 0$ ).
2. Suv va suv bug'i muvozanatida  $N_{s \rightarrow b} = N_{b \rightarrow s}$ , ya'ni ular dinamik muvozanatda bo'ladi.
- 1) Demak, termodinamik muvozanatda uning parametrlari o'zgarmas bo'ladi, lekin uning muvozanat qiymatlaridan chetlashishlari bo'ladi. Ular *fluktuatsiyalar* deyiladi.
- 2) Termodinamik muvozanat faqat sistema ko'p sonli zarrachalardan tashkil topgandagina ma'noga ega.

§56. Qaytar va qaytmas jarayonlar

Agar sistema biror sababga ko'ra muvozanat holatidan chiqarilsa, so'ngra o'z-o'zicha qoldirilsa, u holda sistema o'z-o'zidan muvozanat holatiga o'tishi mumkin. Demak, muvozanat holat – har qanday molekulyar sistema unga tashqi kuchlar ta'sir qilmaganda o'tadigan holatidir.

Muvozanat holatiga o'tish jarayoni *relaksatsiya*, buning uchun ketgan vaqt *relaksatsiya vaqti* deyiladi. Ko'pgina jarayonlar *qaytmas jarayonlar* bo'ladi.

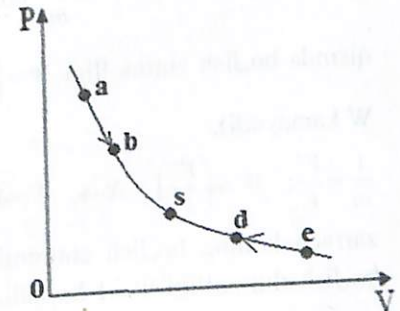
Masalan,

- a)  $T_1 > T_2$  bo'lsa keyin  $T_1 = T_2$  (muvozanat), keyin aslo  $T_1 > T_2$  bo'lmaydi. Bu issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonidir.
- b)  $P_1, \mu_1, P_2, \mu_2$   $P_1 \neq P_2$ ,  $\mu_1 \neq \mu_2$ . Keyin  $\mu_1' = \mu_2'$ ,  $P_1' = P_2'$ , keyin  $P_1' \neq P_2'$  bo'lmaydi. Bu diffuziya jarayonidir.

*Qaytar jarayon* deb, sistema (jism) holatining shunday o'zgarishiga aytiladiki, bu jarayon teskari yo'nalishda amalga oshirilganda sistema xuddi to'g'ri jarayonda o'tgan oraliq holatlari orqali teskari ketma-ketlikda o'zining dastlabki holatiga qaytsin. Biroq sistemadan tashqaridagi jismlarning holati o'zgarmay qolsin! Mexanikada jarayonlar qaytar bo'ladi, agar ishqalanish bo'lmasa, sababi  $\mu_i \neq 0$  bo'lsa,  $\Delta A \rightarrow Q$  ajraladi. Sof mexanik jarayonlar qaytar bo'ladi! Yuqoridagi keltirilgan shartlarni qanoatlantirmaydigan jarayonlar *qaytmas jarayonlar* deb ataladi.

**Kvazistatik jarayonlar**

Butun jarayon davomida sistema muvozanat holatida qoladigan jarayonlar *kvazistatik jarayonlar* deyiladi. Kvazistatik jarayonlar qaytar jarayonlar bo'ladi. Kvazistatik jarayonlarni ko'rgan edik va bunda  $P = P(T)$  yoki  $\bar{P} = P(T)$  bog'lanishning egri chizig'ini chizish mumkin bo'ladi, qachonki sistemaning holat parametrlari butun hajm bo'yicha bir xil, modda yoki gaz izotrop bo'lsa.



65- rasm

### §57. Qaytmaslik va ehtimollik.

Misolda molekularning sonini va ular harakatining tamomila xaotikligini hisobga olib, zarralar sonining o'zgarishida sistemaning sifatii o'zgarishini ko'raylik.

$V' = \frac{V}{5}$  bo'lsin (fikran). Eng pastki qismiga bitta efir molekulasini kiritamiz. Shu molekula barcha bo'lib qo'yilgan hajmlarda bo'lib, shu  $V'$  hajmga qaytib o'tadi va davri  $\tau = \frac{t}{5}$  bo'lgan vaqtda uchrashi mumkin. Bu jarayon

qaytar bo'ladi.  $V'$  hajmda molekulanii topish ehtimolligi  $W = \frac{1}{5}$  dir. Agar ikkita molekula ajratsak, unda ularning  $V'$  da bo'lishi

ehtimolligi  $\left(\frac{1}{5}\right)^2$ .  $N$  ta uchun  $\rightarrow W = \left(\frac{1}{5}\right)^N$  - kamayib boradi. Demak, havo molekularii bilan efir molekularining aralashishi qaytmas jarayon ekan.

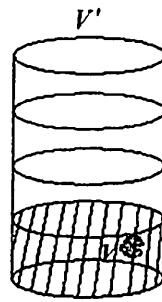
Agar bitta molekula  $t_1 = 2s$  da  $V'$  ga qaytsa, ikkitasi esa  $2^2s$ , yuztasi esa  $2^{100}$  s vaqtdan keyin  $V'$  ga qaytadi. Bu vaqt minglab, milliard soat vaqt bo'ladi.

Ikki xil gazlarning aralashib ketishi ham qaytmas lekin teskari jarayon ham mavjud. Lekin uning ehtimolligi shuncha kamki, amalda mutlaqo ro'y bermaydi deb hisoblash mumkin.

Hozirgi misolda  $V' = \frac{V}{m}$  bo'lsin. Bunda shu  $N$  molekulaning  $V' = \frac{V}{m}$  qismda bo'lish ehtimolligi  $W = \left(\frac{1}{m}\right)^N$  bo'ladi.  $N \rightarrow \infty$ ,  $W \rightarrow 0$  ( $N$  oertishi bilan  $W$  kamayadi).

$\frac{1}{m} = \frac{V'}{V}$ ;  $W = \left(\frac{V'}{V}\right)^N$   $N \rightarrow \infty$ ,  $W \rightarrow 0$ , ya'ni hajmning  $V' = \frac{V}{m}$  qismida  $N$  ta zarrachalarning bo'lish ehtimolligidir. Agarda  $V' = V$  bo'lsa, bu hajmda bo'lish ehtimolligi  $W = 1$  bo'ladi, chunki boshqa hajm yo'qdir!

Misol uchun,  $T = 300 K$ ,  $V = 1 \text{ cm}^3$  hajmning milliarddan  $\alpha = \frac{V'}{V}$  bir ulushidan bo'lab hammasini to'ldirish ehtimolligini hisoblaymiz:



65- rasm

### §56. Qaytar va qaytmas jarayonlar

Agar sistema biror sababga ko'ra muvozanat holatidan chiqarilsa, so'ngra o'z-o'zicha qoldirilsa, u holda sistema o'z-o'zidan muvozanat holatiga o'tishi mumkin. Demak, muvozanat holat - har qanday molekulyar sistema unga tashqi kuchlar ta'sir qilmaganda o'tadigan holatidir.

Muvozanat holatiga o'tish jarayoni *relaksatsiya*, buning uchun ketgan vaqt *relaksatsiya vaqti* deyiladi. Ko'pgina jarayonlar *qaytmas jarayonlar* bo'ladi.

Masalan,

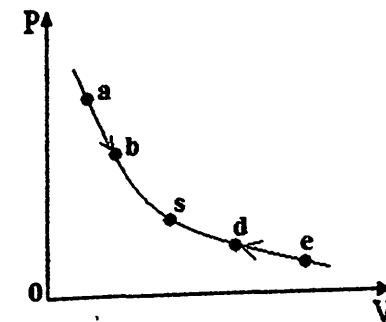
a)  $T_1 \rightarrow T_2$  bo'lsa keyin  $T_1 = T_2$  (muvozanat), keyin aslo  $T_1 > T_2$  bo'lmaydi. Bu issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonidir.

b)  $P_1, \mu_1 \rightarrow P_2, \mu_2$   $P_1 \neq P_2, \mu_1 \neq \mu_2$ . Keyin  $\mu_1 = \mu_2, P_1 = P_2$ , keyin  $P_1 \neq P_2$  bo'lmaydi. Bu diffuziya jarayonidir.

*Qaytar jarayon* deb, sistema (jism) holatining shunday o'zgarishiga aytiladiki, bu jarayon teskari yo'nalishda amalga oshirilganda sistema xuddi to'g'ri jarayonda o'tgan oraliq holatlari orqali teskari ketma-ketlikda o'zining dastlabki holatiga qaytsin. Biroq sistemadan tashqaridagi jismlarning holati o'zgarmay qolsin! Mexanikada jarayonlar qaytar bo'ladi, agar ishqalanish bo'lmasa, sababi  $\mu_i \neq 0$  bo'lsa,  $\Delta A \rightarrow Q$  ajraladi. Sof mexanik jarayonlar qaytar bo'ladi! Yuqoridagi keltirilgan shartlarni qanoatlantirmaydigan jarayonlar *qaytmas jarayonlar* deb ataladi.

#### Kvazistatik jarayonlar

Butun jarayon davomida sistema muvozanat holatida qoladigan jarayonlar *kvazistatik jarayonlar* deyiladi. Kvazistatik jarayonlar qaytar jarayonlar bo'ladi. Kvazistatik jarayonlarni ko'rgan edik va bunda  $P = P(V)$  yoki  $\bar{P} = P(T)$  bog'lanishning egri chizig'ini chizish mumkin bo'ladi, qachonki sistemaning holat parametrlari butun hajm bo'yicha bir xil, modda yoki gaz izotrop bo'lsa.



65- rasm

$$\int_1^2 dU = \int_1^2 dQ - \int_1^2 dA \text{ ifoda o,rinli bo,} \text{Jadi.}$$

Sistemaning bajargan ishi va uning olgan issiqlik miqdori 1→2 o,tishda qanday yo,l bilan o,tganiga bog,liq,  $U$  ning esa unga bog,liq emas (67-rasm).

$$\int_1^2 dU = U_2 - U_1 = \int_1^2 dQ - \int_1^2 dA \text{ ifoda o,rinli bo,} \text{Jadi.}$$

$$\text{Biroq} \quad \int_1^2 dQ = Q_2 - Q_1$$

$$\int_1^2 dA = A_2 - A_1 = A_{1,2}$$

Bu degan gap, har bir holatda sistema aniq ichki energiyaga ega bo,}adi, biroq sistema aniq issiqlik miqdori yoki ishga ega bo,}maydi (chunki u holatga bog,liq).

Shuning uchun ichki energiya holat funksiyasi deyiladi. Biroq  $Q$  va  $A$  holat funksiyalari emas, balki holat o,zgarish jarayonining funksiyasidir!

Agar sistema qator holatlarni o,tib siklik jarayon (dastlabki holatga qaytsa) bajarsin. Bu holda

$$\oint dU = 0$$

U holda

$$\oint dQ = \oint dA \quad (2)$$

$\oint$  -berk kontur bo,yicha integrallashni bildiradi. Termodinamikaning I-qonuni muvozanatli jarayonlar uchun ham, nomuvozanatli jarayonlar uchun ham o,rinlidir. Nomuvozanatli jarayonlarni egri chiziq (68-rasm):

$$AaB \rightarrow BbA$$

shaklida ifodalash mumkin bo,}lmasa ham, sistemaning boshlang,ich va oxirgi holatlari uchun o,rinlidir.

Termodinamikaning I qonunining ideal gaz uchun tatbiqida quyidagilarni olgan edik:

1. 1 mol ideal gazning  $V_1$  da  $V_2$  hajmgacha izotermik kengayganda bajargan ishi quyidagiga teng:

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad T = const, \quad \Delta U = 0.$$

2. Adiyatik kengayishda gazning bajargan ishi:

$$A = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = C_v(T_1 - T_2), \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Bu formulalar sistemaning kvazistatik o,zgargan hollari uchun o,rinlidir.

a) Termodinamikaning I-qonuni jarayon yo,nalishini ko,rsatmaydi va ko,rsata olmaydi!!!

Issiq jismdan sovuq jisimga o,tgan issiqlik miqdori sovuq jismdan issiq jisimga o,tgan issiqlik miqdoriga teng deyiladi.

b) Vaholanki, I-qonun qaytmas jarayonlar uchun ham, qaytar jarayonlar uchun ham bir xilda yoziladi.

### §59. Issiqlikning mexanikaviy ishga aylanishi.

1) Issiqlik uzatishda ko,pincha ish bajarilmaydi va  $\Delta U_1 = \Delta U_2$  teng bo,}adi.

2) Agar issiqlik oladigan jism kengayib ish bajarsin! Unda

$$dA = dQ - dU$$

(1)

3) Agar jarayon izotermik bo,}sa,

$$T = const, \quad U = const,$$

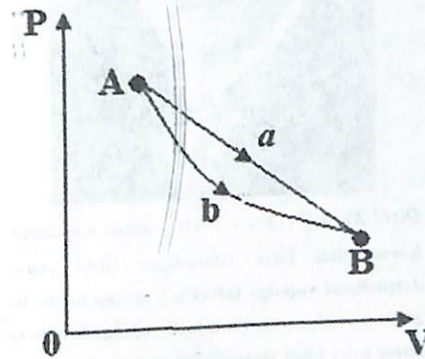
$$dA = dQ$$

(2)

Bu ish *max* miqdor. Bundan katta ish bo,}lishi mumkin emas. Biz ko,rayotgan holda  $T_1 = T_2 = const$  va issiqlik yo,qotilmaydi dedik. Lekin,  $T_1 = T_2$  teng bo,}sa, unda issiqlik

uzatilishi ro,y bermaydi. Lekin  $T_1 \neq T_2$  jarayon qaytmas bo,}adi. Biz  $T_1$  va  $T_2$  bir - biridan juda oz farq qiladigan sharoitlarni qarayapmiz.

Texnikada bug,, mashinasi, ichki yonuv dvigatellari va h.z. siklik ravishda ishlaydi: ya'ni  $AaB \rightarrow BbA$ , issiqlik uzatilishi va ish bajarilishi davriy ravishda takror bo,lib turadi va sistema o,zining dastlabki holatiga davriy ravishda qaytib turadi. Bunday jarayonlar *aylanma (siklik)*



68-rasm

jarayonlar deyiladi. Avvalgi holatni tiklovchi holat o'zgarishi va to'plami *sikl* deb ataladi. Agar  $P$  va  $V$  orqali ifodalansa, sikl  $AaBbA$  yoki egri chiziq bilan ifodalanadi. Ish esa  $S_{AaBbA}$  yuzaga son jihatidan teng (68-rasm).

**Kelvin prinsipi.** Siklik jarayonda  $dA = dQ$  teng bo'ladimi? Yo'q!  
Lekin 1854-yilda V.Tomson (Kelvin) tomonidan bunga salbiy javobni – umumiy tamoyil shaklida ifodaladi:



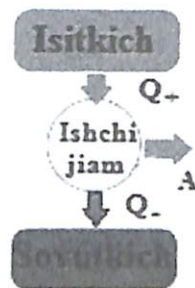
**Dizel Rudolf** (1858 – 1943) – nemis muhandisi. Karno sikli bilan ishlaydigan ichki yonuv dvigatellarni vujudga keltirish g'oyasini berdi. Bu g'oyani amalga oshirish tufayli vujudga kelgan va uning nomi bilan ataladigan dvigatellar hozir ham keng qo'llaniladi hamda ular nisbatan katta quvvatli va ekologik toza hisoblanadi.

issiqlik miqdori beradi.

Siklik mashinada ish bajarish uchun turli temperaturali ikki jism qatnashishi shart degan tasdiq *Karno prinsipi* deb ataladi.

Agar gaz kengayib ish bajarsa, uni avvalgi holiga qaytarish uchun siqishimiz kerak, lekin  $A_{BbA}$  ish bajarishi kerak.

Albatta,  $A_{AaB} > A_{BbA}$  bo'lishi kerak.



69- rasm

“Biror jismdan olingan issiqlikning qandaydir jismlarda hech qanday o'zgarish vujudga keltirmay, yagona mexanikaviy ishga aylantirib beruvchi siklik jarayonni amalga oshirish mumkin emas!”

Sistema ish bajarishi uchun olingan issiqlik miqdori biror jisimga berilishi zarur va bu jism ish bajarib o'zining avvalgi holatiga kelishi zarur. Bu jism – ishchi jism; issiqlik manbai – isitkich.

Jismning issiqlik uzatilishi kerak bo'lgan jism – sovutkich. Kelvin ana shu uchinchi jism – sovutkichdir deb ataladi. U zarurdir, u hech qanday ish bajarmasa ham, ishchi jism unga

## §60. Karno sikli

Karno prinsipi asosida issiqlik energiyasini ishga aylanishini ko'raylik. Bunda isitkich → ishchi jism → sovutkich – uchta jism qatnashadi. Isitkich va sovutkichning issiqlik sig'implari shunday katta bo'lsinki, bunda ularning temperaturasi jarayon davomida o'zgarmas deyish mumkin bo'lsin.

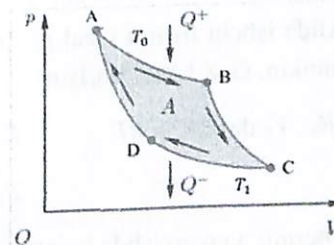


**Karno Nikola Leonard Sadi** (1796 – 1832) – fransuz fizigi–injener. Issiqlik masalalari bilan shug'ullanib, termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini yaratishga (Karno teoremasi) o'z hissasini qo'shdi. Karno nomi bilan atalgan siklda ishlaydigan issiqlik mashinasining nazariyasini yaratdi, Karno teoremlarini kashf qildi va issiqlik dvigatelinin F.I.K. ni hisoblash formulasini keltirib chiqardi. Issiqlikning mexanik ekvivalenti tushunchasini kiritdi.

2. Endi ishchi jism olgan issiqlikni sovutkichga berish kerak. Lekin uning temperaturasi  $T_0 > T_{sovutkich}$ . Buning uchun ishchi jismni temperaturasini sovutish temperaturasiga yetguncha

Ishchi jismda amalga oshadigan jarayon biror  $P_0$  gacha siqilib, isitkich bilan kontaktda bo'lib,  $T_0$  ega bo'lgan paytidan boshlaymiz (*Anuqta*) (70-rasm).

1. Dastlab ishchi jism isitkich bilan kontaktda bo'lib kengaysin, ya'ni  $T_i = T_0 = const$  (izotermik kengayish)  $AB$  – egri chiziq. Bunda ish bajariladi. Ish isitkichdan olgan issiqlik miqdori hisobiga bo'ladi. Lekin isitkichning temperaturasi  $T_0 = const$ , chunki  $C$  katta.  $A_1 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = Q_0$  isitkichdan olinadigan issiqlik miqdori.



70- rasm

adiabatik kengaytirib, so,ngra sovutkichga tekkizish kerak. Sababi, to,g,ridan to,g,ri tekkizsak ish bajarilmaydi. Demak, II bosqichda ham gaz adiabatik kengayib ish bajaradi:

$$M/\mu=1 \text{ mol uchun } A_2 = \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} = C_v(T_0 - T_1).$$

3. Dastlabki holatga qaytarish uchun ishchi jism sovutkich bilan kontaktga bo,,lib siqilishi kerak. Dastlab ishchi jism  $T_1 = T_{\text{sovutkich}}$  da izotermik siqiladi (sovutkich bilan kontaktga kengayib o,,zgaradi)

$$CD\text{-izoterma. } A_3 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} = Q_1 \text{ sovutkichga berilgan}$$

issiqlik miqdori.

4. So,ngra ishchi jismni sovutkichdan izolyatsiyalab, u isitgich temperaturasi gacha adiabatik siqiladi (adiabatik jarayon). Adiabatik siqilishda jism uning ustida bajarilgan tashqi ish hisobiga qiziydi.  $T - T_0$  bo,,lganda ishchi jism isitkichning temperaturasi bilan tenglashganda isitkich bilan kontaktga keladi va sikl tugaydi!

$$A_4 = \frac{R(T_1 - T_0)}{\gamma - 1} = -\frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} = -C_v(T_0 - T_1) \text{ adiabatik jarayonda}$$

bajarilgan ish.

Shunday qilib, aylanma jarayon ikkita izotermik va ikkita adiabatik kengayish va siqilish jarayonlaridan iborat. Bu jarayonlarda issiqlik o,,tkazuvchanlik jarayonini nazariy yo,,q dedik va jarayon kvazistatik (sekin) deb hisobladik. Mana shu sikl *Karno sikli* deyiladi! Bunda  $A_1$  va  $A_3$ ,  $A_2$  va  $A_4$  dan katta ekan, ya'ni  $A_{\phi} = A_1 + A_2 - (A_3 + A_4) > 0$  ekan! Karno siklida ishchi jismni ideal gaz deb, uning miqdoriy jihatdan ko,,rib chiqish mumkin. Gaz 1 mol bo,,lsin.

$$I. R_0, V_0 \text{ da } P_0 V_0 = RT_0 \quad T_0 = \frac{P_0 V_0}{R} \text{ - isitgich temperaturasi.}$$

$$T_1 \text{ - esa sovutish temperaturasi bo,,lsin.}$$

$$\text{Izotermik kengayishda bajarilgan ish: } A_1 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = Q_0 \quad (1)$$

isitkichdan olingan issiqlik miqdoriga teng.

$$II. \text{ Gaz adiabatik kengayadi: } T_0 V_1^{\gamma-1} = T_1 V_2^{\gamma-1}$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1} \text{ va bajarilgan ish}$$

$$A_2 = \frac{RT_0}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right] = \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} = C_v(T_0 - T_1) \quad (2)$$

III. Gaz ustida izotermik ish bajarib qisamiz:

$$A_3 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} = Q_1 \Rightarrow \text{sovutkichga berilgan issiqlik miqdoriga}$$

teng.

Bu ish hisobiga  $Q_1$  ajralib chiqadi va sovutkichga beriladi.

IV. Nihoyat, gaz boshlang,,ich holatga kelishi uchun  $P_0$  va  $V_0$  gacha adiabatik siqiladi:

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1} \quad T_1 V_3^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1} \quad (4)$$

$$A_4 = \frac{R(T_1 - T_0)}{\gamma-1} = -\frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} < 0 \quad (5)$$

Shu bilan sikl tugaydi. Gaz bajargan va gaz ustida bajarilgan umumiy ish:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (6)$$

$$A = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} + \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} - \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1}$$

$$A = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} = Q_0 - Q_1 \quad (7)$$

$$\left.\begin{aligned} \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} &= \frac{T_0}{T_1} \\ \left(\frac{V_3}{V_0}\right)^{\gamma-1} &= \frac{T_0}{T_1} \end{aligned}\right\} \quad \left.\begin{aligned} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} &= \frac{T_1}{T_0} \\ \left(\frac{V_0}{V_3}\right)^{\gamma-1} &= \frac{T_1}{T_0} \end{aligned}\right\}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_0} \quad \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_3} = r \text{ - gazning kengayish koeffitsiyenti} \quad (8)$$

$$\text{bo,,lgani uchun: } A = RT_0 \ln r - RT_1 \ln r = R(T_0 - T_1) \ln r \quad (9) \text{ ekan.}$$

$V_1 > V_0$  va  $V_2 > V_3$ ,  $\ln r > 0$  va  $T_0 > T_1$  bo,,lgani uchun  $A > 0$ .

$$\left. \begin{array}{l} \text{Isitkichdan olingan issiqlik miqdori} \\ \text{va sovutkichga berilgan issiqlik miqdori} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_0 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} \\ Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} \end{array} \quad (9')$$

yoki  $Q_1 = -RT_1 \ln r$ .

$$\text{Demak, } A = Q_0 - Q_1 = R(T_0 - T_1) \ln r \quad (10) \text{ ekan.}$$

Ish  $A$   $S_{AVSD}$  egri chiziq bilan chegaralangan yuzaga teng ekan. (9') da

$$\frac{Q_0}{T_0} = R \ln \frac{V_1}{V_0} = R \ln r, \text{ va } \frac{Q_1}{T_1} = -R \ln \frac{V_3}{V_2} = -R \ln r$$

$$\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = 0 \quad \frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1} \quad (11)$$

Demak, keltirilgan issiqlik miqdorlari o'zaro teng ekan!

Siklning FIK

$$\eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0} \quad (12)$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik bo'lmagani uchun qaytmas jarayon bo'lgani yo'q. Shuning uchun bundan yuqori ish bajarish mumkin emas.

**Karnoning 1-teoremasi.** Isitkich va sovutkichga berilgan temperatura qiymatlarida ishlaydigan har qanday issiqlik mashinasi Karno qaytuvchi sikli bo'yicha ishlaydigan mashina FIK dan yuqori FIK ga ega bo'lishi mumkin emas.

**Karnoning 2-teoremasi.** FIK  $\eta \sim T_0$  va  $T_1$  ga bog'liq, jism turiga bog'liq emas.

Karno sikli bo'yicha ishlaydigan qurilma issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun xizmat qiladi, ya'ni issiqlik isitkichdan sovutkichga beriladi (issiqlik dvigateli). Karno teskari sikli bo'yicha ishlaydigan mashina issiqlikni kamroq qizigan jismdan ko'proq qizigan jismga berish uchun ishlatiladi, ya'ni sovutkich (xolodilnik) mashina bo'lib ishlaydi. Bu mashina yordamida tashqi mexanikaviy ish hisobiga issiqlik sovuqroq jismdan yuqoriroq temperaturali jismga uzatiladi.

### §61. Erkin energiya

1) Adiabatik jarayonda ish ichki energiya hisobiga bajariladi va bu ish ichki energiyaning o'zgarishiga, ya'ni kamayishiga teng:

$$dQ = 0 \quad dA = -dU$$

$$2) \text{ Izotermik jarayonda } A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ bo'lib, } T = \text{const}, \quad U = \text{const}$$

bo'lib, jami va molekular harakatining kinetik energiyasi o'zgarmas bo'lib qoladi. Shu sababli, jismning yoki sistemaning energiyasi bilan ularning ish bajarishi mumkin bo'lgan energiyasini farqlashimiz kerak.

Qaytuvchan izotermik kengayish va siqilish jarayonlarida termostatda ( $T = \text{const}$ ) bo'lganda gaz kengayib ish bajarishi mumkin. Termostat va gazdan iborat sistema biror energiyaga ega edi.

Sistemaning berilgan sharoitlarda mexanikaviy ishga aylantirish mumkin bo'lgan energiyasining qismi *erkin energiya* deyiladi. Sistema o'zining erkin energiyasidan ortiq ish bajara olmaydi.

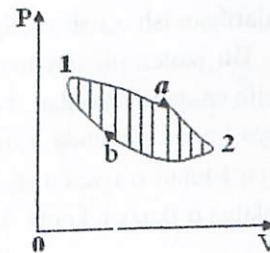
Mexanikada jismning to'liq energiyasi  $\sum W_k + \sum W_p$  va bu energiyasini to'la ishga aylantirish mumkin edi. Lekin molekulyar sistemada sistemaning ichki energiyasini butunlay ishga aylantirish mumkin emas! Izotermik jarayonda  $U = \text{const}$  ( $T = \text{const}$ ) va  $U$  ni holat funksiyasi (xarakteristikasi) deb bo'lmaydi.

Adiabatik jarayonda esa  $dA = -dU$ . Lekin erkin energiyani sistemaning izotermik o'zgarandagi ish bajara olish qobiliyati nuqtayi nazaridan qarash kerak!

Har bir holat uchun erkin energiyaning aniq son qiymatini bilish kerak, buning uchun qandaydir holatni hisob boshi deb qabul qilish kerak. Bu noaniqlikka olib kelmaydi, balki bajarilgan ish erkin energiyaning o'ziga emas, uning o'zgarishiga teng. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, bu erda ish aniq qiymatga ega bo'lishi uchun bu jarayon kvazistatik bo'lishi kerak. Shunday qilib, sistemaning erkin energiyasi sistemaning o'z holatini ayni vaqtda o'zi turgan holatdan, erkin energiyaning nolga teng deb qabul qilingan holatgacha izotermik va qaytuvchan o'zgartirishda bajarilgan ishi bilan o'lchanadi. Agar sistemaning erkin energiyasi  $F$  bo'lsa, u holda sistemaning jarayonda bajargan ishi

$$dA = -dF.$$

Agar izotermik jarayonda gaz kengaysa



71- rasm

$V \rightarrow$ ,  $dA > 0$ ,  $dF < 0$ ;  
 siqilsa  $V \leftarrow$ ,  $dA < 0$ ,  $dF > 0$ .

1 mol gazning izotermik jarayonda bajarilgan ishi  $A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$  edi.

Demak, bajarilgan ish erkin energiyasi o'zgarishiga teng:  $\Delta A = |\Delta F|$ .

Ideal gazning ichki energiyasi uning egallagan hajmiga bog'liq emas. Lekin ballondagi siqilgan gazning ichki energiyasi siqilmagan gazning ichki energiyasiga teng. Biroq siqilgan gazning erkin energiyasi katta bo'lishiga sabab shuki, u izotermik kengayishda katta ish bajaradi. Siqilgan gaz izotermik kengayganda bajarilgan ish termostatdan berilgan  $Q$  – issiqlik miqdoriga teng ish bajaradi. Agar hajmning izotermik o'zgarishi qaytmas bo'lib amalga oshsa, u holda bajarilgan ish qaytuvchan jarayondagi ishdan kichik bo'ladi, erkin energiyaning o'zgarishi  $dA < dF$  bo'ladi. Demak,  $dA \leq |dF|$ .

$<$  – ishorasi qaytmas jarayonga,

$=$  – tenglama ishorasi qaytar jarayonga tegishli.

Shunday hollar bo'ladi, bunda erkin energiyaning o'zgarishi bilan hech qanday ish bajarilmaydi. Masalan, ideal gaz bo'shliqqa kengayotgan bo'lsa, u hech qanday ish bajarmaydi. Agar temperatura o'zgarmas bo'lsa, ichki energiya ham o'zgarishsiz qoladi. Lekin uning erkin energiyasi kamayadi, chunki gazning bajarishi mumkin bo'lgan ishi kamayadi. Buning sababi shuki, gazning bo'shliqqa kengayish jarayoni  $T = const$  bo'lsa ham, u batamom qaytmas jarayondir.

Endi erkin energiyaning holat funksiyasi ekanini isbot qilamiz. Biror jism birinchi holatdan ikkinchi holatga izotermik va qaytuvchan o'tganida, jism holatlaridagi erkin energiyalarning farqiga teng bo'lgan ish – bajarilgan ish o'tish yo'lga bog'liq emasligini ko'rsatamiz.

Bu izotermik qaytuvchan aylanma jarayonda ish 0 ga teng ekanidan kelib chiqadi. Masalan,  $1 \rightarrow 2$ .

a-yo'l bilan o'tganda  $A_1$  ish bajarsin.

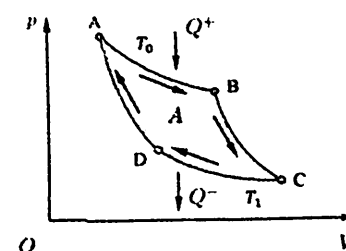
b-yo'l bilan o'tganda  $A_2$  ish bajarsin. Boshqa yo'l bilanmas, biribir uni I-holatga o'tkazish kerak. Unda aylanma jarayon bo'ladi.

U holda  $A_1 - A_2 \neq 0$ ,  $A_1 \neq A_2$ , lekin  $F_1 \neq F_2$ . Bunda jismning bajarilgan ishi jismning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liq degan xulosaga chiqadi. Demak, erkin energiya holat funksiyasi ekan.

## §62. Entropiya.

Ishchi jismning holat o'zgarishlarini Karno siklida ko'raylik:

1.  $A \rightarrow B$  izotermik kengayish ( $T_0 = const$ )
2.  $B \rightarrow C$  adiabatik kengayish ( $T_0 \rightarrow T_1$ )
3.  $C \rightarrow D$  izotermik siqilish ( $T_1 = const$ )
4.  $D \rightarrow A$  adiabatik siqilish ( $T_1 \rightarrow T_0$ )



72- rasm

Bunda ajralgan issiqlik miqdori  $Q_1 < Q_2$  edi.  $A \rightarrow C$  ish  $C \rightarrow A$  ga o'tgandagi ish bilan yoki  $Q_1 > Q_2$  ekan (issiqlik yutilishi va ajralishi har xil). Demak,  $ABC$  dagi ish  $CDA$  dagi ishga teng emas! Ish o'tish yo'lga bog'liq:  $A_{AB} \neq A_{CD}$ .

Jismning 1-holatdan 2-holatga o'tishdagi jismga berilgan issiqlik miqdori yoki undan olingan issiqlik miqdori jismning boshlang'ich va oxirgi holatlari bilan aniqlanmas ekan, bu o'tish qanday amalga oshirilishiga bog'liq ekan! Demak,  $Q$   $U$  singari ( $F$  – singari) holat funksiyasi bo'lmaydi. Bu termodinamikaning I-qonunidan ham kelib chiqadi.

$$dQ = dA + dU,$$

Bu yerda  $dU$  – yo'lga bog'liq emas!

$dA$  – yo'lga bog'liq.

Lekin  $ABC$  o'tishdan  $\frac{Q_0}{T_0}$  va  $\frac{Q_1}{T_1}$   $CDA$  o'tishdan  $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_0}{T_0} = 0$  kelib chiqar

edi.

Demak, 
$$\oint \frac{dQ}{T} = 0.$$

$\frac{Q}{T}$  – Lorens ataganidek *keltirilgan issiqlik* deb ataladi. Karno sikli uchun keltirilgan issiqliklar yig'indisi ajralgandagisiga teng. Bu nisbat  $\frac{Q}{T}$  holat funksiyasidir va u entropiya deb atalubchi holat funksiyasini kiritishga imkon beradi.

*Entropiya* – “εντροπιν” – grekcha so'z bo'lib, – o'zgarimoq, aylantirmoq degan ma'noni bildiradi.

Sistema holati biroz o'zgariganda  $dQ$  – issiqlik miqdorini yutadi yoki ajratib chiqaradi. Sistema yutsa  $dQ > 0$  (musbat), ajratib chiqarganda  $dQ < 0$   $Q_0 > 0$   $Q_1 < 0$  deb shartlashamiz. Agar sistema  $A \rightarrow B$  bo'lsa, u holda  $\int_A^B \frac{dQ}{T}$  kattalik o'tish yo'lga bog'liq bo'lmaydi! Agar jarayon aylanma bo'lsa,  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$  bo'ladi, lekin  $\oint dQ = \oint dU + \oint dA = \oint dA \neq 0$ .

Masalan, Karno sikli uchun

$$\oint \frac{dQ}{T} = \frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = 0, \text{ demak}$$

$\frac{dQ}{T}$  holat funksiyasi bo'la olar ekan. Unda bu nisbat integralini  $S$  bilan belgilaymiz. Bu esa *entropiya* deb ataladi:

$$S = \int \frac{dQ}{T}, \text{ chunki } dS = dQ/T$$

Agar sistema  $A \rightarrow B$  o'tsa, unda  $S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$ . Demak, sistema holatining o'zgarishini xarakterlash uchun uning entropiyasi o'zgarishini bilish ( $\Delta S$ ) kerak ekan! Shuning uchun, entropiyaning nol holatini qidirish shart emas! Lekin  $T = 0K$  da  $S = 0$  ekanligi isbot qilingan. Demak, sistemaning berilgan holatidagi entropiyasini ( $S$ ) aniqlash uchun uning  $S = 0$  holatiga o'tishdagi energiyaning o'zgarishini topish kerak. Sistemaga  $dQ$  issiqlik berilganda, sistema entropiyasining o'zgarishi  $dS = \frac{dQ}{T}$  bo'ladi.

Agar  $dQ = dA + dU$  o'rniga  $T \cdot dS$  qo'ysak,  $T \cdot dS = dA + dU$  bo'ladi. Bu tenglama *termodinamik ayniyat* deb ataladi. Uni ko'pincha qaytar jarayonlar uchun *termodinamikaning II bosh qonuni* deb yuritiladi. Qaytar

jarayonlar uchun termodinamikaning II bosh qonuni shundan iboratki, sistemaning holat formulasi entropiya bilan xarakterlanishi mumkin. Agar aylanma jarayon qaytmas bo'lsa,  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$ . Sababi:  $A_k = Q_0 - Q_1$ ,  $A_{q-s} = A_{q-r} = Q_0 - Q_1$ .

Bu  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  tengsizlik *Klauzius tengsizligi* deb ataladi.  $\frac{Q_0}{T_0} < \frac{Q_1}{T_1}$  – qaytmas

jarayon uchun va jarayon qaytar bo'lsa  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$  bo'ladi.

Qaytmas Karno sikli uchun  $\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} < 0$ . Umumiy holda  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$

Berk qaytuvchi jarayonlarda  $dS = \frac{dQ}{dT}$ ;  $dQ = 0$ .

Sistema berk bo'lganda issiqlik olmaydi ham, bermaydi ham ( $dQ = 0$ ). Demak,  $dS = 0$ ,  $S = const$ .

Sistemamiz boshqa jism bilan issiqlik almashinib ish bajarsin. U holda sistema umumiy entropiyasi *const* bo'lib qoladi.

Agar jism isitkichdan issiqlik miqdori bo'lsin:  $Q_j = -dQ_{is}$ . Jarayon qaytuvchan bo'lishi uchun  $T_j = T_{is} = T$ , aks holda issiqlik uzatilishi ro'y beradi. Demak,  $\frac{dQ_j}{T} = dS_j$ ;  $dS_{is} = \frac{dQ_{is}}{T}$ ;  $dS = dS_j + dS_{is} = \frac{dQ_j}{T} + \frac{dQ_{is}}{T} = 0$ .  $\sum dQ/T = 0$  ya'ni  $S = const$ .

Berk sistemadagi har qanday qaytuvchan jarayonda sistema entropiyasi o'zgarishsiz qoladi.

### §63. Berk sistemadagi qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi. Entropiyaning ortib borish qonuni

Qaytuvchi jarayonda, masalan, Karno siklida  $\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1}$  edi, ya'ni izotermik kengayishdagi va izotermik siqilishdagi keltirilgan issiqliklar teng edi. Agar 1-holatda 2-holatga o'tgandagi  $a$  izotermalar yig'indisidan

iborat (adiabatalardan iborat bo'lsa ham) unda  $\frac{dQ_{ad}}{T_{ad}} = \frac{dQ_{ca}}{T_{ca}}$ .

$$\sum \frac{dQ_{ca}}{T_{ca}} = \sum \frac{dQ_{ad}}{T_{ad}}$$

Keltirilgan issiqliklarning yig'indisi o'tilgan holatlar yo'lga bog'liq emas ekan! Mana bu *Klauzius teoremasi* deyiladi.

Agar qaytmas jarayondagi issiqlik mashinasining holi uchun

$$\frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} < \frac{T_0 - T_1}{T_0}; \frac{Q_1}{Q_0} < \frac{T_1}{T_0}; \text{ bundan } \frac{Q_0}{T_0} < \frac{Q_1}{T_1}$$

Demak,  $\frac{Q_0}{T_0} \leq \frac{Q_1}{T_1}$ . Agar qaytuvchi bo'lsa,

$$\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1} \text{ edi.}$$

Agar qaytmas bo'lsa,  $\frac{Q_0}{T_0} \neq \frac{Q_1}{T_1}$  va

$$\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} < 0.$$

$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$  yoki  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$ . Bu qaytar va qaytmas jarayonlar uchun Klauzius tengsizligining ko'rinishi. Faraz qilaylik, berk sistemada, 1a2 qaytmas, muvozanatda bo'lmagan jarayon bo'lsin, 2b1 jarayon esa qaytar jarayon bo'lsin (73-rasm).

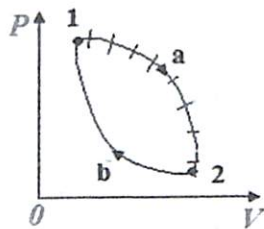
Berk sistema uchun  $\oint \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} < 0; \int_2^1 \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2.$

$$\int_2^1 \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2 = \Delta S < 0.$$

Qaytar va qaytmas jarayonlar uchun umumiy holda  $S_1 - S_2 \leq \int_2^1 \frac{dQ}{T}$

yozamiz.  $S_2 > S_1, S \rightarrow$ . Muvozanatdagi qaytar jarayon uchun  $\Delta S = \oint dS = \oint \frac{dQ}{T} = 0$ , ya'ni qaytar jarayonlarda entropiya o'zgarmas ekan.

Qaytmas jarayon uchun esa  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  o'rinni.



73- rasm

Fizik ma'nosi:  $\Delta S = \frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = S_0 - S_1 < 0$ , ya'ni qaytar jarayondr

entropiya ortib boradi. Karno sikli uchun FIK  $\eta = \frac{T_0 - T_1}{T_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0}$  ga teng edi.

1) Agar  $T_0 \rightarrow, \eta \rightarrow$ , lekin  $\frac{Q_0}{T_0}$  - kamayadi,  $S \leftarrow$  (kamayadi).

2) Agar  $T_1 \leftarrow, \eta \rightarrow, \frac{Q_1}{T_1} \rightarrow$ , ayirma kamayadi,  $S \rightarrow$  (ortadi).

Demak, entropiyaning oshishi FIK kamayishiga teskari proporsional va aksincha. Entropiya sistemaning energiya bilan ta'minlanmaganligining darajasini xarakterlaydi. Ko'pincha, entropiya jismning (sistemaning) issiqlik berao lmaslik (ishlayolmaslik) "o'lchami" - qobiliyatini xarakterlaydi.

Endi entropiyaning ba'zi bir jarayonlarda o'zgarishini ko'ramiz.

I. Adiabatik jarayon.  $dQ = 0. S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T} \geq 0.$

1) Qaytar adiabatik jarayonlar uchun entropiyaning o'zgarishi  $S_2 - S_1 = \Delta S = 0.$

2) Qaytmas adiabatik jarayonlar uchun  $S_2 > S_1$ , ya'ni entropiya ortadi.

Agar biror izolyatsiyalangan jism uchun  $dQ = 0$  bo'lsa, bu jismning entropiyasi  $S = const$  bo'lib qoladi yoki oshishi mumkin. Lekin har qanday jarayonda kamayishi mumkin emas! Qaytar adiabatik jarayonlarda entropiya o'zgarmas qoladi. Bunday jarayonlar *izoentropik jarayon* deyiladi.

$$0 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \geq S_2 - S_1 \text{ dan qaytar jarayon uchun } S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = 0. S_2 = S_1.$$

$\oint \frac{dQ}{T} = 0$  qaytmas jarayon uchun  $S_2 - S_1 > 0. S_2 > S_1$ . Demak, entropiya ortadi.

II. Issiqlik almashinishi.  $dQ$  issiqlik miqdori issiq  $T_1$  temperaturali jismdan pastroq  $T_2$  temperaturali jismga uzatilsin. Bu ikki jismdan tashkil topgan sistemaning entropiyasining o'zgarishi

1-jism $T_1 > T_2$	2-jism $T_2$
-----------------------	-----------------

$$dS = dS_2 - (+dS_1) = dS_2 - dS_1 = dQ \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2} dQ > 0$$

$$\text{Bu yerda } dS_1 = \frac{-dQ}{T_1}; dS_2 = \frac{+dQ}{T_2}.$$

Agar  $T_1 > T_2$ ,  $\Delta S > 0$   $S \rightarrow$  (entropiya ortadi).

Issiqlik almashinish jarayonida entropiya oshadi. Agar sovuq jismdan issiq jisimga issiqlik o'tsa, entropiya kamayishi kerak edi. Agar sistema har xil jismlardan tashkil topgan bo'lsa, ularning energiyalari ma'lum bo'lsa, ularning entropiyalarini hisoblash va issiqlik oqimi yo'nalishini aniqlash mumkin.

III. Ideal gazning bo'shliqqa kengayishi. Bu jarayon qaytmas jarayondir va

$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$  bo'yicha entropiyaning o'zgarishini hisoblash mumkin emas.

Lekin temperaturani *const* deb, qaytmas jarayonni xayoliy qaytuvchi deb, real jarayondagi hajmlarni chekli  $V_1$  va  $V_2$  deb, kengayishi sekin kvazistatik (muvozanatli) jarayon deb sistemaning entropiyasini hisoblash mumkin.

$$S_2 - S_1 = \frac{1}{T} \int_1^2 dQ = \frac{\Delta Q}{T}, \text{ bu yerda}$$

$\Delta Q$  - gazning biror manbadan olgan issiqlik miqdori.

$$\text{Bu } \Delta Q = A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \frac{V_2}{V_1} > 0$$

Demak,  $S_2 - S_1 > 0$  va  $S_2 > S_1$ . Demak, entropiya ortadi.

#### §64. Termodinamikaning asosiy tenglamasi va ba'zi termodinamik munosabatlar

Termodinamikaning II-qonunini qaytar jarayon uchun ko'rinishi

$$T \cdot dS = dA + dU \quad (1)$$

$$T \cdot dS = dU + PdV \quad (2)$$

$$dS = \frac{dU + PdV}{T} \quad (3) \text{ bo'ladi.}$$

1 mol gaz uchun  $dU = C_v \cdot dT$  va  $P = \frac{RT}{V}$  ni hisobga olsak,

$$dS = C_v \cdot \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}$$

$$\text{Integrallasak, } S = C_v \ln T + R \ln V + S_0 \quad (4)$$

Bu yerda  $S_0$  - sistemaning boshlang'ich entropiyasi.

Agar  $m$  kg modda uchun  $T_1$  dan  $T_2$  gacha isitilgandagi sistema entropiyasining o'zgarishi  $PV = \frac{m}{\mu} RT$  ga asosan

$$S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} \left( C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (5)$$

Entropiyaning to'liq ortishi temperaturaning ortishi tufayli va hajmning ortishi tufayli entropiya ortishining yig'indisiga teng. Agar ideal gazni

$$V = const \text{ da qizdirsak, unda } \Delta S = S_2 - S_1 = C_v \cdot \frac{m}{\mu} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (6),$$

$$\text{Agar } T = const \text{ bo'lsa, } \Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6')$$

(2) tenglamadan erkin energiyani hisoblash mumkin:

$$T \cdot dS = dA + dU \Rightarrow dA = -dU + T \cdot dS = -d(U - T \cdot S)$$

$$dA = -dF \quad (7) \text{ edi.}$$

$$T \cdot dS = dU - dF$$

$$F = U - T \cdot S \quad (8) \text{ sistemaning erkin energiyasidir.}$$

$T \cdot S$  - bog'langan energiya deyiladi, uni  $G$ -harfi bilan belgilasak,  $T \cdot dS = G$ .

$$F = U - G \quad (9)$$

$$U = F + G \quad (10)$$

Sistemaning ichki energiyasi erkin energiyasi bilan bog'langan energiyasining yig'indisiga teng.

Erkin energiyani  $V = const$ ,  $T = const$  bo'lgandagi sistemaning potensial energiyasi deb qarash mumkin. Shuning uchun, termodinamikada sistemaning muvozanat sharti uning erkin energiyasining minimum bo'lishidir, ya'ni

$$U_{\min} \rightarrow F \rightarrow \min.$$

## §65. Entalpiya

Sistema  $dQ$  issiqlik miqdori berilgan bo'lsa, unda

$$dQ = dU + PdV = d(U + PV) \quad (1)$$

$P = \text{const}$  desak,

$$U + PV = I \quad (2)$$

$I$  – entalpiya deyiladi.

$$\text{Integrallasak, } \Delta Q = U_2 - U_1 + (PV_2 - PV_1) = I_2 - I_1 \quad (3)$$

$$\Delta I = \Delta Q (P = \text{const})$$

Demak, sistema entalpiyasining o'zgarishi izobarik jarayonda sistemaga berilgan issiqlik miqdoriga  $\Delta Q$  teng!

$P = \text{const}$  da (2) dan

$$C_p = \left( \frac{\partial I}{\partial T} \right)_p = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + P \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (4)$$

Doimiy bosimdagi issiqlik sig'imi izobarik jarayondagi entalpiyadan temperatura bo'yicha olingan hosilaga teng:

$$C_p = \left( \frac{\partial I}{\partial T} \right)_p$$

Agar bosim ( $P = \text{const}$ ) bo'lmasa,  $dQ = d(U + PV)$

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

Bu holda issiqlik sig'imi

$$C = \frac{dQ}{dT} = \left( \frac{\partial I}{\partial T} \right)_p + \left( \frac{\partial I}{\partial P} \right)_T \frac{dP}{dT} + V \frac{dP}{dT} = \left( \frac{\partial I}{\partial T} \right)_p + \left[ \left( \frac{\partial I}{\partial P} \right)_T + V \right] \frac{dP}{dT}$$

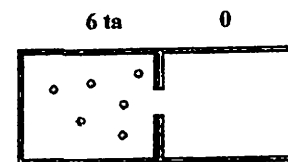
Entalpiya, ichki energiyaga o'xshab, sistemaning holat funksiyasidir. Entalpiya so'zi shuning uchun issiqlik saqlami deb atalib, Gibbsning issiqlik funksiyasi deyiladi.

$U, F, I$  – termodinamik potentsiallar deyiladi.

## §66. Entropiya va ehtimollik

Termodinamikaning II qonuni ko'rsatishicha, issiqlik muvozanatiga keluvchi jismlar sistemasining entropiyasi ular muvozanat holatga yetganda  $\text{max}$  ga erishadi.

Demak, sistemaning muvozanat holatiga o'tish ehtimolligi bilan sistema entropiyasining muvozanat holatiga o'tishda  $S$  ning  $\text{max}$  ga intilishi orasida bog'lanish bo'lishi kerak.



74- rasm

Bunday bog'lanishni Boltsman topgan edi.

$N$  ta molekulaning idishning ikki qismida joylashish usullari soni.

$$Z = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

Avvalo, ehtimollik ta'rifini aniqlaymiz. Ikki qismga bo'lingan idishda 6 ta molekula bor. Ularni fikran nomerlaymiz. Ularning 6 tasi 1-idishda bo'lishi holati 2 ta usulda bo'lishi mumkin. Usullar soni 2 ta:

$$1) Z = \frac{6!}{6!0!} = 1, \quad 1:6 \text{ bo'lishi } 2 \times 1 \text{ ta usul}$$

$$2) Z = \frac{6!}{5!1!} = 6, \quad 1:5 \text{ bo'lishi } 2 \times 6 \text{ ta usul}$$

$$3) Z = \frac{6!}{2!4!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4!}{2!4!} = 15, \quad 2:4 \text{ bo'lishi } 2 \times 15 \text{ xil usul bilan amalga}$$

oshadi;

$$4) Z = \frac{6!}{3!3!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3!}{3!3!} = 20, \quad 3:3 \text{ eng } \text{max} \text{ usul bilan amalga oshadi.}$$

Demak, 2 ta idishda 6 ta molekularning taqsimlanishlar soni 64 ta yoki  $2^6$  ta ekan.

Agar idishda  $N$  ta molekula bo'lsa, ular nomerlangan bo'lsa, u holda bu molekularni  $2^N$  usul bilan taqsimlash mumkin. Bu molekularning  $n$ -tasi chapda, o'ngda  $N-n$  tasi bo'lishidagi  $Z$  o'rinlashtirish soni

$$Z = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

(Izoh:  $0! = 1$  ga teng).

Agar  $n = \frac{N}{2}$  bo'lsa,  $Z = \text{max}$  bo'ladi (baravar bo'linadi). Agar idish 2 ga emas, ko'p bo'laklarga bo'linganda ham shu natija olinadi. Bizning ko'rgan misolda  $N=6$  bo'lib, jami o'rinlashtirishlar soni 64 ga teng edi.

$$2^6 = 64; \quad 2 \times 1 + 2 \times 6 + 2 \times 15 + 1 \times 20 = 2 + 12 + 30 + 20 = 64.$$

Ularda 5 tasi chap, 1 tasi o'ngda bo, Jadigan holning ehtimolligi  $6/64$  ga teng. Umumiy holda  $N$  ta molekulaning  $n$  tasi chapda, qolgani o'ngda bo, Jishi ehtimolligi

$$W = \frac{Z}{Z_w} = \frac{N!}{2^n} \text{ yoki}$$

$$W = \frac{N!}{n!(N-n)!2^n}; \quad n = \frac{N}{2} \text{ bo, Jiganda } W = \max \text{ bo, Jadi.}$$

Molekulalar sistemasi muvozanatda bo, Jgan holda, idishning  $\frac{V}{V'} = m$

qismiga teng holat uchun, sistemaning har bir holatini ehtimolligi  $w = \left(\frac{V'}{V}\right)^N$  bilangina emas, shu bilan birga ana shu holat amalga oshadigan usullar soni bilan ham xarakterlash mumkin. Holat amalga oshadigan usullar soni *termodinamik ehtimollik* deyiladi va  $w$ -harfi bilan belgilanadi. Termodinamik ehtimollik kattaligi entropiya bilan bog, Jangan, chunki ularning ikkalasi sistemaning muvozanat holatida *max* ga ega. Sistema muvozanatga o, tishda entropiya oshadi, ehtimollik ham oshadi. Boltsman entropiyani termodinamik ehtimollik bilan bog, Jadi.

$$\Delta S = k \ln \frac{w}{w_0};$$

$$S = k \ln w - k \ln w_0 = k \ln w - S_0$$

$S_0 = k \ln w_0$  - entropiyaning hisob boshi. Bu hisob boshidan hisoblangan entropiya  $S = k \ln w$ .

$N$  - zarraning  $V' = \frac{V}{m}$  qismiga tushish ehtimolligi.

$$W = \left(\frac{V'}{V}\right)^N = \left(\frac{1}{m}\right)^N \text{ edi.}$$

Bu kattalikka teskari kattalik  $w = \frac{1}{W} = \left(\frac{V'}{V}\right)^N$ .

Bu kattalik  $w$  ehtimollikning gazning idish hajmini to, Ja egallash ehtimolligidan necha marta kichik ekanligini ko, rsatadi.

$w$  - termodinamik ehtimollik bo, Jib, matematik ehtimollikka teskaridir. Agar  $W = \max = 1$  bo, Jsa,  $W = 1 = \min$  bo, Jadi.

$$1 \text{ mol modda uchun } w = \frac{1}{W} = \left(\frac{V'}{V''}\right)^N = \left(\frac{V'}{V''}\right)^k.$$

$$\ln w = \frac{R}{k} \ln \frac{V'}{V''}; \quad k \ln w = R \ln \frac{V'}{V''} = S; \quad k \ln w = R \ln \frac{V'}{V''} = w; \quad S = k \ln w \text{ bo, Jadi.}$$

Agar gaz  $V' = V_1$  hajmdan  $V'' = V_2$  hajmgacha izotermik kengaysin. Kengayuncha  $S_1 = k \ln w_1 = R(\ln V' - \ln V_1)$

$$\text{Kengayandan keyin } S_2 = k \ln w_2 = R(\ln V' - \ln V_2)$$

$$\text{Entropiyaning o, zgarishi } |\Delta S| = |S_2 - S_1| = k \ln \frac{w_2}{w_1} = R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

$$\text{Izotermik jarayonda bajarilgan ish } A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \Delta Q \text{ va } \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

Ikkala tenglamadan  $\Delta S = \frac{A}{T}$ ; energiya saqlanish qonuniga asosan  $A = \Delta Q$  edi.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} - \text{Karno siklni tahlil qilish formulasini chiqardik.}$$

Demak, sistema o, zining termodinamik ehtimolligi *max* bo, Jgan holatga intiladi, ya'ni muvozanat holati sharoitiga. Bu hol esa entropiyaning *max* holatidir. Shuning uchun sistemaning muvozanat holatiga o, tishda entropiya ortib boradi.

## §67. Entropiya va tartibsizlik

Agar mexanik energiya issiqlik energiyasiga aylansa ( $W_{\max} \rightarrow Q$ ), unda shu jism molekulalarining tartibli harakati ularning zarrachalarining betartib harakatiga aylanadi. Mexanik harakatda jism molekulalari tartibli harakatda, issiqlik harakatda esa beto, xtov xaotik harakatda bo, Jadi. Demak, entropiya bilan tartibsizlik orasida bog, Janish bor. Katta tartibsizlik bilan xarakterlanadigan harakat tartiblashganroq holatga nisbatan katta termodinamik ehtimolga ega. (Tartibsiz harakatni tartibli harakatga keltirish qiyin). Shuning uchun issiqlik jarayonlari qaytmas jarayonlardir. Bu esa tartib va tartibsizlikning qaytmasligidir.

1) Shunday qilib, entropiya, (keltirilgan issiqlikni belgilovchi) holat funksiyasidir.  $S \sim \frac{Q}{T}$ ;

2) 0-holatga nisbatan qaytar jarayon entropiyasi  $\int_{q-r} \frac{dQ}{T} = S$  bo'ladi.

3) Berk sistema uchun qaytuvchi jarayonda  $S = const$ .

4) Qaytmas jarayonlarda berk sistemaning entropiyasi ortadi.

5) Entropiyaning max qiymati sistemaning muvozanat holatiga to'g'ri keladi.

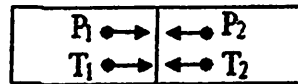
6) Entropiya holatning termodinamik ehtimolligi bilan bog'lanagan:  $S = k \ln w$

7) Entropiya sistemaning tartibsizlik o'lchovidir.

Sistemaning entropiyasi ortishi bilan undagi issiqlikni mexanik energiyaga aylantirish qiyinlashadi. Entropiya max bo'lgandagina muvozanat holatdagi sistemaning energiyasini ishga aylantirish mumkin emas.

### §68. Maksvell demoni

Maksvell termodinamikaning II qonuniga zid keluvchi xayoliy tajriba g'oyasini ilgari surdi. Alohida molekularning tezligiga sezgir qobiliyatga ega bo'lgan R qurilma ikki qismli idishning o'rtasida devori teshigiga o'rnatilsin. Dastlab  $P_1 = P_2$ ,  $T_1 = T_2$ . Xaotik harakati tufayli molekularlar chapdan o'ngga, o'ngdan chapga harakatlanadi. "Demon" shunday ishlash kerakki, u bir tomonga faqat tez molekularni, ikkinchi tomonga faqat sekin molekularni o'tkazsin.



75- rasm

Demak,  $P_1 > P_2$ ,  $T_1 > T_2$  bo'lib qoladi. Ish bajarilmadi, bu esa termodinamikaning II qonuniga mutlaqo zid!

Temperaturalar farqi o'z-o'zidan yuzaga kelmaydi.

Demon shunday tushuntiriladi: R-saralovchi qurilma detallari molekularlardan kichik bo'lishi kerak va zarba hisobiga ishlashi kerak. Biroq molekularning harakatlari tamomila tartibsiz, statistik harakatdir. Shu sababli klapan tasodifiy ochiladi va yopiladi. Demak, kutilgan voqea ro'y bermaydi.

### §69. Entropiya va uning xossalari

1) Entropiya va uning o'zgarish qiymatlari:  $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$  yoki  $dS = \frac{dQ}{T}$

$$S = \int \frac{dQ}{T}$$

2)  $\Delta S = S - S_0$ ;  $T = 0$  dagisi  $S_0 = 0$ .

3) Qaytar Karno siklida  $\frac{Q_1}{T_1} = R \ln \frac{V_1}{V_0} = R \ln r$  va  $\frac{Q_2}{T_2} = R \ln r$ .  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$  yoki

$S_1 = S_2$  ga teng. Bu  $\frac{Q}{T}$  - Lorens keltirilgan issiqlik holat funksiyasidir.

4)  $\Delta S = S_1 - S_0 = 0$ .  $S = const$  - qaytar jarayonlar - izoentropik jarayonlar deyiladi.

5)  $dQ = dU + dA$ ;  $dQ = TdS$ ;  $T \cdot dS = dU + dA$  - Qaytar jarayonlar uchun termodinamikaning II qonunidir.

6) Qaytmas jarayonda (berk sistemada)  $\frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2}$  yoki  $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} < 0$ .

$S_1 - S_2 < 0$ ;  $S_2 > S_1$ ,  $S \rightarrow$ , ya'ni entropiya ortadi. Qaytmas jarayonlarda entropiya ortib boradi. Bu termodinamikaning II qonunidir.

7) Misollar: a) Issiqlik uzatilishda  $dS_A = -\frac{dQ}{T_A}$ ;  $dS_B = \frac{dQ}{T_B}$   $T_A > T_B$

$$dS = dS_A + dS_B = dQ \left( -\frac{1}{T_A} + \frac{1}{T_B} \right) > 0, S \rightarrow \text{entropiya oshadi.}$$

b) Gaz adiabatik kengayganda  $dQ = dU + PdV$ ;  $dU = -PdV$ ;  $\Delta U = -\Delta A$ ;

izotermik kengayganda  $\Delta A = \int PdV = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ ;  $dQ = dA$ ;

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\Delta A}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} > 0.$$

c) O'zaro diffuziyalanadigan jarayon uchun

$$\Delta S = R \left( \ln \frac{V}{V_1} - \ln \frac{V}{V_2} \right) \left. \begin{array}{l} V_1 \rightarrow V = (V_1 + V_2) \quad S_1 \rightarrow \\ V_2 \rightarrow V = (V_1 + V_2) \quad S_2 \rightarrow \end{array} \right\} S \rightarrow.$$

8) Termodinamikaning II qonunini Klazius tengsizligi orqali ifodalaymiz.

Berk sistemalarda siklik jarayonlar uchun

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0.$$

"=" – qaytar jarayonlar uchun;

"<" – qaytmas jarayonlar uchun.

9) Entropiya va ehtimollik. Termodinamik ehtimollik

$\omega = \frac{1}{W}$ ;  $[(1; \infty)]$  – uning o'zgarish intervali.

$$W = \frac{N!}{n!(N-n)!} \quad n = \frac{N}{2} \text{ bo'lganda } W = \max \text{ bo'ladi.}$$

Entropiya bilan termodinamik ehtimollik orasidagi bog'lanish:

$$S = k \ln w \quad S_0 = k \ln w_0.$$

Holat amalga oshadigan usullar soni *termodinamik ehtimollik* deyiladi.

$$\text{Entropiyaning o'zgarishi } \Delta S = k \ln w - k \ln w_0 = k \ln \frac{w}{w_0}.$$

10) Entropiya *max* qiymati sistemasining muvozanat holatiga to'g'ri

$$\text{keladi. } n = \frac{N}{2}, \quad w \rightarrow \max, \quad S \rightarrow \max.$$

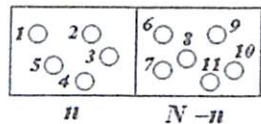
11) Entropiya tartibsizlik o'lchovidir.

Mexanik energiya (tartibli harakat)  $\Rightarrow$  issiqlik energiya (tartibsizlik bo'ladi) entropiya ortadi. Bu jarayon qaytmas,  $S \rightarrow \max$  da sistemasining energiyasini ishga aylantirish mumkin emas! Demak, entropiya sistemasining ish bajara olmaslik qobiliyatini xarakterlaydi.

### §70. Termodinamikaning III bosh qonuni

Ko'p sonli tajribalar shuni ko'rsatadiki, har qanday sistemada temperatura pasayishi bilan tartiblanishga moyillik bo'ladi. Temperatura pasaysa, sistemasining molekularining tartibsiz harakati susayib boradi. Energiyaning kam qismi tartibsiz harakat uchun taalluqli bo'ladi.

Agar jismni absolyut 0 gacha sovutish mumkin bo'lganda edi, shuning uchun sistemada xayol qilingan maksimal tartib o'rnatilgan bo'lar edi, sistemasining bu holatiga minimal entropiyaga muvofiq kelar edi!



76- rasm

Past temperaturalar uchun xulosa:

Absolyut 0 K temperaturada har qanday holat o'zgarishlarida absolyut nol entropiya o'zgarmaydi. Bu xulosani 1906-yilda Nernst chiqargan. Nernst teoremasi deb yuritiladi: bu teoremani quydagicha ta'riflashimiz mumkin: *temperaturaning absolyut nolida sistemasining bir muvozanat holatidan ikkinchi muvozanat muvozanat holatga o'tkazuvchi barcha jarayonlar entro'piya o'zgarimagan holda sodir bo'ladi.* Boshqacha qilib aytganda, absolyut nolga yaqinlashishda sistemasining absolyut entropiyasi sistemasining holatini xarakterlovchi barcha parametrlarning qanday qiymatlari qabul qilishdan qat'i nazar, absolyut nolga intiladi. Bularni quydagilar tasdiqladi.

1)  $T = 0$  da ehtimollik yordamida tahlil qilishda  $S = 0$  bo'lar edi. Bu Nernst teoremasiga zid emas! Agar  $T = 0$  bo'lganda  $S = 0$  bo'lsa, unda  $T = 0$  ga erishish mumkin emas, ya'ni absolyut tartib o'rnatish mumkin emas!

2) Ikkinchi tomondan,  $T = 0^{\circ} K$  li jism mavjud bo'lsa, u holda II-tur abadiy dvigatel bo'lishi mumkin edi, ya'ni  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1$  va

$$Q_1 = A \text{ edi!}$$

Bu Termodinamikaning II qonunga asosan mumkin emas, chunki  $dQ = dU + dA$ .

Ba'zida termodinamikaning III bosh qonunini absolyut 0 temperaturaga erishib bo'lmashlik prinsipi bilan ifodalanadi.

### §71. Manfiy temperaturalar

Temperatura molekularning ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasini xarakterlaydigan fizik kattalikdir. Demak,  $T < 0$  bo'lishi mumkin emas edi! Agar temperatura to'g'risidagi umumiy tushunchadan foydalanib, Boltsman taqsimotidan ko'rsak,  $T < 0$  bo'lishi mumkin:

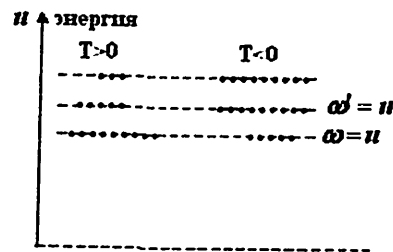
$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{U}{kT}} \quad (1)$$

$U \rightarrow$  bilan  $\frac{n}{n_0} \leftarrow$  edi. Agar  $U = kT$  bo'lsa,  $\frac{n}{n_0} = e^{-1}$  edi, ya'ni  $n$   $n_0$  dan  $e$

marta kichik. Boltsman qonunida esa hamma vaqt  $n < n_0$ ! Shuning uchun

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\frac{U}{kT}$$

$$T = -\frac{U}{k \ln \frac{n}{n_0}} \quad (2)$$



77- rasm

Bunda  $n < n_0$  bo'lganda  $T > 0$  bo'ladi.

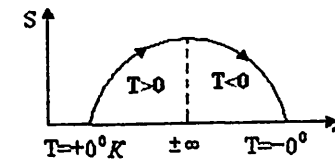
Agar shunday sistema mavjud bo'lsaki,  $n$   $n_0$  dan katta bo'lsa,  $T < 0$  bo'ladi.

Bu klassik sistema emas (unda  $T < 0$  bo'lmaydi). Kvant sistemani ko'rayotgan bo'lsak va entropiyadan (tartibsizlikni xarakterlovchi kattalik) foydalanamiz.  $T = 0$  qiymatida sistemaning barcha zarralari o'zlarining eng quyi sathida yotadi. Boshqa sathlar bo'sh. Bunday holatda sistema max tartiblangan bo'lib, uning entropiyasi  $S = 0$ . Agar sistemaga energiya bersak ( $T \rightarrow$ ), bunda energetik sathlar qisman egallanadi. Bu egallanish Boltsman qonuniga bo'ysunadi.  $T \rightarrow$ ,  $S \rightarrow$  tartibsizlik ortadi.  $S = \max$  bo'lganda, zarralar energetik sath bo'yicha tekis taqsimlanishi cheksiz temperaturaga to'g'ri keladi ( $T \rightarrow \infty$ ). Kvant sistemasida bunday tekis taqsimlanish mumkin emas, sathlar soni ko'p, zarralar soni chekli. Shuning uchun bunday sistemada entropiya max orqali o'tmaydi, balki temperatura oshishi bilan  $S$  monoton ortib boradi:  $T \rightarrow \infty$ ,  $S \rightarrow \infty$ . Bunday sistemada ham  $T = 0^\circ K$  da  $S = 0$  bo'ladi va zarralar eng past energetik sathni egallaydi! Agar  $T \rightarrow$ ,  $S \rightarrow$ , lekin zarralar soni va energetik sathlar soni ham chekli.  $T = \infty$  da  $S = \max$  bo'ladi. Agar cheksiz yuqori temperaturali sistemaga biror usul bilan qo'shimcha energiya bersak, uning zarralari yuqorigi energetik sathlarni egallaydi va bu yuqorigi sathlarni "egallanishi" pastki sathlardagidan ko'p bo'lib qoladi.

Ravshanki,  $T = \infty$  dan to'la tartibsizlikdan birmuncha tartiblangan holatga keldik (ya'ni energetik taqsimot "yaxshilandi"). Demak, entropiya bunda kamayib boradi. Energiya ortishi bilan entropiya ortmayotgani bo'lsa, demak, temperatura musbat emas, manfiy ekan. Sistemaga qancha

ko'p energiya berilsa, tartiblanish shuncha yaxshi ( $S \leftarrow$ ). Nihoyat ideal tartib va  $S = 0$ . Buni biz  $-0$  temperaturaga to'g'ri keladi deymiz. Odatdagi temperatura  $+0$  desak, sistemaning fikran olingan temperaturasi  $+0$   $+\infty$  va  $-\infty$   $-0$  gacha boradi va  $\pm \infty$  da ustma-ust tushadi. Tartiblanganlik yoki entropiya nuqtayi nazaridan uchta chekka holat bo'lishi mumkin:

1. To'la tartiblanish – zarralar eng quyi sathlarda to'plangan. Bu holat  $\pm \infty K$  ga to'g'ri keladi.
2. To'la tartibsizlik – zarralar barcha energetik sathlar bo'yicha tekis taqsimlangan. Bu holat  $+\infty K$  ga to'g'ri keladi.



78- rasm

3. Yana qaytadan to'la tartiblanish – zarralar eng yuqori energetik sathlarga joylashgan. Bu holatga muvofiq keladigan temperaturaga  $-0 K$  qiymat berildi.

Demak, manfiy temperatura bu minus  $^\circ K$  emas, balki sistemaning tartiblanishini cheksiz orttirishga to'g'ri kelgan temperatura bo'ladi.

$+0^\circ K$  – absolyut izolyatsiya va min energiya bo'ladi.

$-0^\circ K$  – eng muvozanatsiz, juda yuqori energetik holatdir! Bunda sistemaga uzluksiz energiya berilib turilishi kerak. Har ikkalasiga amalda erishib bo'lmaydi.

#### Bob yuzasidan nazorat savollar

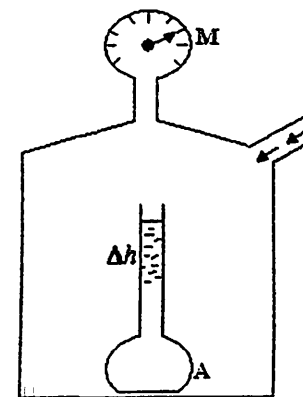
1. Muvozanat holat nima?
2. Qaytar jarayon deb nimaga aytiladi?
3. Qaytmaslik ehtimolligi nimani anglatadi?
4. Kelvin tamoyili.
5. Karno tamoyili.
6. Siklik jarayon nima?
7. Siklik jarayonlarda misollar keltiring.
8. Karno sikli FIK.
9. Karnoning 1-teoremasi.
10. Karnoning 2-teoremasi
11. Teskari Karno sikli.
12. Erkin energiya deb nimaga aytiladi?
13. Entropiya tushunchasi.

14. Qaytar jarayon uchun entropiyaning o.zgarishi.
15. Klayzius tengsizligi.
16. Termodinamikaning II qonuni.
17. Gazning izotermik kengayishida entropiyaning o.zgarishi.
18. Issiqkik almashinishida entropiyaning o.zgarishi.
19. Entropiya nima?
20. Entropiya va ehtimollik.
21. Entropiya va tartibsizlik.
22. Entropiya va FIK.
23. Termodinamikaning III qonuni.
24. Manfiy temperatura.

## VI BOB. SUYUQLIKLARNING XOSSALARI.

### §72. Suyuqlikning hajmiy xossalari

Suyuqlikning asosiy xususiyati uning o,z hajmini saqlashi va erkin sirtining mavjudligidir. Van-der-Vaals tenglamasi real gazlarning suyuq holatini ham xarakterlar edi. Ammo u suyuqliklarning holat tenglamasi bo,la olmaydi. Biroq, hech bo,lmaganda bu tenglama orqali suyuqliklarning sifat jihatidan, holat tenglamasi deb, ba'zi bir xossalarini tavsiflash mumkin. Masalan, suyuqlikning siqiluvchanligi va ularning issiqlikdan kengayishi. Boshqa xossalarini, erkin sirtiga bog,liq xossalarini ana shu sirt va sirtga kontaktda bo,lgan muhit ta'sirini hisobga olgan holda o,rganamiz.



79-rasm

a) Suyuqliklarning siqiluvchanligi.

Xuddi gazniki kabi  $\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$ , lar  $dP = 1$  birlikga o,zgarganda,

$\frac{dV}{V}$  – siqiluvchanlik koeffitsiyentiga teng bo,jadi.

Ideal gaz uchun  $\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP} = -\frac{1}{P}$  edi. Agar  $P = 1 \text{ atm}$  bo,lsa  $\chi = -1$

Biroq suyuqliklarda  $\chi$  ning son qiymati juda kichik. Bu holat izotermasida AB bo,limiga mos kekadi.

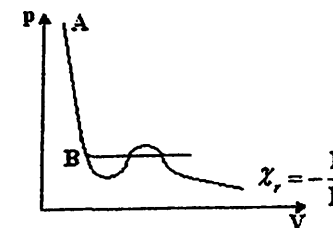
$\chi \sim 10^{-1} - 10^{-5} \text{ atm}^{-1}$ .

Masalan,  $H_2O$  uchun  $\chi = 4,53 \cdot 10^{-5} \text{ atm}^{-1}$ ;

$Hg$  uchun  $\chi = 3,95 \cdot 10^{-6} \text{ atm}^{-1}$ .

AB uchastkada grafik tik, chunki suyuqlikning siqiluvchanligi juda kichik edi.  $\chi \sim 10^{-1} \div 10^{-5} \text{ atm}^{-1} = 10^{-9} \div 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ .

$\chi$  bosimga bog,liq bo,jadi. Sababi



80-rasm

bosim ortishi bilan  $r$  kamayadi. Molekulalar orasidagi o'zaro itarishish kuchlari keskin oshadi va yana yaqinlashishga to'sqinlik qiladi:  $\chi \sim \frac{1}{P}$ .

Katta bosimlarda esa suyuqliklarning barchasi uchun  $\chi$  deyarli birday bo'ladi.

$\chi \sim T$  bog'liq.  $T \rightarrow r \rightarrow, F_{it} \leftarrow$ , demak suyuqliklarning siqiluvchanligi ortadi. Demak,  $T \rightarrow \chi \rightarrow$ .

$\chi$  ni Van-der-Vaals tenglamasidan aniqlash mumkin. Lekin bunda  $a$  va  $b$  lar  $T$  ga bog'liq. Shuning uchun ularning qiymatini tajribada aniqlash mumkin. Tajribadan olingan empirik formula:

$$\chi = \frac{A}{(P + P_T)V} \quad (2)$$

Bu yerda  $A \sim T$  bog'liq ravishda ortib boruvchi biror funksiya  $A = A(T)$ .

$P$  – tashqi bosim,

$P_T = F_{it}$  kuchlariga bog'liq ( $T$  ga bog'liq bo'lgan) bosimdir.

$T \rightarrow A \rightarrow$ , demak  $\chi \rightarrow$ .

Agar  $P \rightarrow, \chi \leftarrow$ .

Bu formula bosimning uncha katta bo'lmagan qiymatlari uchun o'rinlidir.

**$\chi$  ni tajribada aniqlash.**  $\chi$  ni aniqlashga xizmat qiluvchi asboblardan biri *pyezometr*lar deb ataladi. Hajmni bosimdan o'zgarishi

$\Delta V = \Delta h \cdot S$  bog'lanishdan  $S$  – qancha kichik bo'lsa,  $h$  – juda katta va sezilarli bo'ladi (80-rasm).

Agar ingichka nay bo'lmasa, unda  $\Delta V$  ni sezish qiyin.  $\Delta P$  ni o'zgarishiga qarab (2) bo'yicha  $\chi$  ni hisoblash mumkin.

b) Suyuqliklarning issiqlikdan kengayishi.

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT}$$

Ya'ni  $\alpha \cdot dT = 1 K$  ga o'zgarganda  $V$  hajmning nisbiy o'zgarishiga teng bo'lgan kattalik edi. Ideal gaz uchun  $\alpha = \frac{1}{T}$  va  $0^\circ C$  da

$\alpha \approx \frac{1}{273} \approx 3,68 \cdot 10^{-3} K^{-1}$  edi. Suyuqlikning issiqlikdan hajm kengayishi

ko'effitsiyenti o'zining miqdori jihatidan kichik, lekin temperaturaga ham zaif bog'langan.

Masalan,  $H_2O$  uchun -  $1,5 \cdot 10^{-4}$  ( $15^\circ C$  da),

Zaytun moyi uchun -  $7,25 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ ,

Simob -  $1,8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ .

$\alpha$  bosim ortishi bilan kamayadi, ya'ni  $P \rightarrow, \alpha \leftarrow$  va  $T \rightarrow, \alpha \rightarrow$ .

Buni Van-der-Vaals tenglamasi bo'yicha tavsiflashimiz mumkin:

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

$$PV + \frac{a}{V} - Pb - \frac{ab}{V^2} = RT$$

$T$  bo'yicha diferensiallasak,

$$\frac{dV}{dT} \left( P - \frac{a}{V^2} - \frac{2ab}{V^3} \right) = R$$

$$\frac{dV}{dT} = \frac{R}{P - \frac{a}{V^2} - \frac{2ab}{V^3}}$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT} = \frac{R}{V \left( P - \frac{a}{V^2} - \frac{2ab}{V^3} \right)}$$

Demak,  $P \rightarrow, \alpha \leftarrow$ .

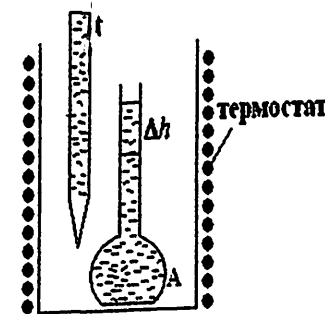
**$\alpha$  ning tajribada aniqlanishi.**

Jismlarning issiqlikdan hajmiy kengayish ko'effitsiyentini o'lchashga xizmat qiladigan asboblardan biri *dilatometr*lar deyiladi (81-rasm). Shu metodlardan biri quyidagicha. Naychali idishga suyuqlik shunday solinadiki, u suyuqlik naychani bir qismini to'ldirsin.

$$\Delta t \rightarrow \quad \Delta h \rightarrow \quad \Delta V = \Delta h \cdot S$$

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{S \cdot \Delta h}{V_0 \cdot \Delta t}$$

Agar  $V_0 = \frac{M}{\rho}$  ni topsak, unda  $\alpha = \frac{\rho S \cdot \Delta h}{M \cdot \Delta t}$  bo'ladi.



81- rasm

Lekin bu metod uncha aniq emas! Chunki u idishning kengayishini hisobga olmaydi.

Hajmiy kengayish koeffitsiyentini laboratoriyada aniqlashda Dyulong va Pti tomonidan tavsiya qilingan hamda Reno mukammallashtirgan klassik metodidan foydalaniladi. Bu metod tutash idishlarning ikki ustunidagi temperaturalari har xil boʻlib, bu ustunlardagi suyuqliklarning muvozanatidan foydalanishga asoslangan (82-rasm) ( $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$  ga teng, yaʼni  $\rho \sim \frac{1}{h}$ ). qurilmamaning

tuzilishi quyidagicha.

Suyuqlik uchun  $H_1 = H_2 = H$  desak, bosimlar farqi

$$H(\rho_2 - \rho_1) = (h_1 - h_2)\rho_2; \quad (1)$$

$$V_1 = V_0(1 + \alpha \Delta t), \Delta t = t - t_0$$

$$\text{va } V_1 = V_2(1 + \alpha \Delta t) \quad (2)$$

$$\text{yoki } \Delta t = t_1 - t_2 \quad (3)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 1 + \alpha \Delta t$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

Shuning uchun  $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{1 + \alpha \Delta t}$ , bundan

$$\rho_1 = \frac{\rho_2}{1 + \alpha \Delta t}. \quad (5)$$

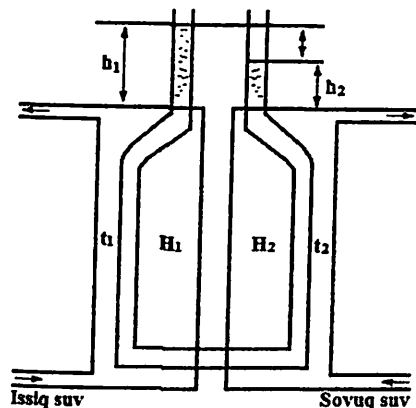
(5) ni (1) ga qoʻysak,  $H - \frac{H}{1 + \alpha \Delta t} = h_1 - h_2$

$$H \alpha \Delta t = (h_1 - h_2)(1 + \alpha \Delta t)$$

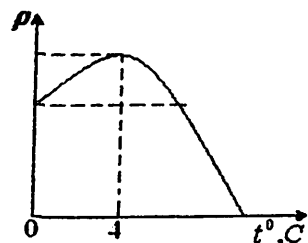
$$\beta = \alpha = \frac{(h_1 - h_2)}{[H - (h_1 - h_2)] \Delta t}. \text{ Tajribada } N_1, h_1, h_2$$

va  $\Delta t$  larni oʻlchab,  $\beta$  ni qiymati aniqlanadi.

**Suv anomaliyasi.**  $0^\circ\text{C} \rightarrow 4^\circ\text{C}$ .  $T \rightarrow V \leftarrow$   
 $\rho \rightarrow$ , yaʼni  $4^\circ\text{C}$  da suv zichligi  $\rho$

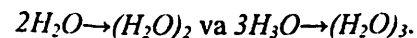


82- rasm



83- rasm

maksimum boʻladi (83-rasm). Sababi, suv molekulari assotsiatsiyalanadi, yaʼni



Ogʻir suv molekulari paydo boʻladi. Solishtirma hajmi shu suv molekulari uchun har xil.

### §73. Suyuqliklarning issiqlik sigʻimi

Molekulyar-kinetik nazariyada ideal gaz uchun issiqlik sigʻimining formulasi chiqarilgan edi. Lekin bu qonuniyatlar suyuqliklar uchun oʻrinli boʻla olmaydi! Sababi, ideal gazning ichki energiyasi  $U = \sum_{i=1}^n W_{ki}$ .

Suyuqliklarda esa  $U = \sum_{i=1}^n W_{ki} + \sum_{i=1}^n W_m$  dir!

Tajribada koʻrinishicha, suyuqlikning issiqlik sigʻimi  $C \sim T$  ekan.

a) Temperatura ortsa, issiqlik sigʻimi ortar ekan; ( $T \rightarrow, C \rightarrow$ ).

b) Baʼzilarida temperatura ortsa, issiqlik sigʻimi kamayar ekan (masalan, simob);

c) Baʼzilarida temperatura ortsa, issiqlik sigʻimi kamayadi, soʻngra esa ortadi (masalan, suv).

Suyuqliklarda ham  $C_p \neq C_v$ , suyuqlikning 1 moli  $1^\circ\text{K}$  ga isitganda  $dA = PdV$  ga teng boʻlgan kengayish ishi bajariladi va bu suyuqlikning hajm kengayish koeffitsiyentiga bogʻliq.  $\beta$  esa har xil. Demak, molyar issiqlik sigʻimlari uchun  $C_p - C_v \neq R$ .  $C_p - C_v < R$  yoki  $C_p - C_v > R$  boʻlishi mumkin. Bu esa  $F_{it}$  ga bogʻliq!!!

Masalan: suyuq Ar uchun  $C_p - C_v = 10,75 \text{ kal/mol} \cdot \text{K}$ , suv uchun  $C_p - C_v = 0,01 \text{ kal/mol} \cdot \text{K}$ . ( $1 \text{ kal} = 4,2 \text{ J}$ ). Lekin suyuq metallarda  $C_v = \text{const}$  boʻlib,  $\approx 6 \text{ kal/mol} \cdot \text{K}$  ga teng. Ular uchun Dyulong-Pti qonuni oʻrinlidir.

### §74. Suyuqliklarda koʻchish hodisalari

Suyuqliklarda, xuddi gazlardagidek, diffuziya, issiqlik oʻtkazuvchanlik va qovushoqlik hodisalarini kuzatamiz. Gazlarda bu hodisa parametrlari  $\lambda$  bilan bogʻlangan edi. Lekin suyuqliklarda molekular orasidagi masofa

$r \sim d$  (molekulalar diametri) tartibida bo'ladi. Shuning uchun suyuqlik molekulalari molekulalararo masofa ( $r$ ) chegarasida ro'y beradigan kichik tebranishlar bilangina cheklanadi. Fluktuatsiya natijasida molekulalar biror  $\delta$  masofaga sakrab-sakrab o'tishi mumkin. Mana shu sakrashlar molekulalarning issiqlik harakatidir. Bu sakrashlar molekulalarning o'zaro ta'sir kuchi  $f$  ga, temperatura  $T$  ga, zichlik  $\rho$  ga bog'liq bo'ladi.

1)  $\delta \sim f$ ; 2)  $\delta \sim T$ ; 3)  $\delta \sim \rho$ .

Lekin shunday murakkab hodisalar uchun ham ba'zi mulohazalarni aytish mumkin.

1. Diffuziya qonuni uchun (suyuqliklar uchun) Fik qonuni o'rinli, ya'ni  $I = -D \frac{dq}{dx}$ . Agar "sakrash"lar orasidagi vaqtni (o'troq vaqti)  $t$  desak  $\frac{\delta}{t}$  - molekulalarning tezligini beradi.

$$\text{Ideal gazlarda } D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v}.$$

$$\text{Suyuqliklarda } D = \frac{1}{6} \bar{\delta} \cdot \frac{\bar{\delta}}{t} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\bar{\delta}^2}{t} \quad (1)$$

$\bar{\delta}^2$  emas  $\bar{\delta}^2$  deb yozamiz. Bu holda ham Broun harakati kabi qonuniyat kelib chiqdi.

$D \sim T$  ga kuchli bog'liq. Sababi molekulalarning o'troq hayotining muddati temperatura ortishi bilan kamayadi. Sababi, "sakrashga" etarli energiya olish ehtimolligi Boltsman taqsimotiga asosan ortadi:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{n}{kT}} \quad (2)$$

Bu yerda  $n$  - hajm birligidagi energiyasi  $W$  ga teng bo'lgan molekulalar soni.

$n_0$  - energiyasi  $kT$  ga teng bo'lgan molekulalar soni.

Temperatura ortishi bilan energiya ortadi,  $\bar{t}$  kamayadi. Ehtimollik katta bo'lsa,  $t$  kam bo'ladi:

$$\bar{t} = A e^{-\frac{n}{kT}} \quad (3)$$

$A$  - koeffitsiyent  $\frac{1}{v}$  ga teng, ya'ni tebranishlar chastotasiga teskari kattalik.

Sababi, sakrashgacha molekulalar  $v$  chastota bilan tebranadi. Har tebranishni sakrashga urinish deb qarash mumkin.  $v$  katta bo'lsa, sakrash ehtimolligi katta bo'ladi.

$$\text{Demak, } A = \frac{1}{v} = T \quad (4) \text{ tebranishlar davri ma'nosiga ega ekan.}$$

(4)  $\rightarrow$  (3)  $\rightarrow$  (1)

$$A = \frac{1}{6} \bar{\delta}^2 v e^{-\frac{n}{kT}} = B e^{-\frac{n}{kT}} \quad (5), \quad \bar{B} = \frac{1}{6} \bar{\delta}^2 v.$$

$W$  - molekulaning sakrashi uchun kerak bo'lgan energiya yoki faollash energiyasi deyiladi.

Suyuqliklar uchun  $D$  gazlardagiga nisbatan juda kichik. Masalan,  $NaCl$  ning suvdagi eritmasi uchun  $D = 1,1 \cdot 10^{-9} m^2/s$ .

Gazlarda,  $Ar$  gazining  $He$  dagi diffuziyasi uchun  $D = 7 \cdot 10^{-5} m^2/s$ .

**Ichki ishqalanish (qovushoqlik).** Gazlarniki singari suyuqlik harakati harakat yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishda impuls ko'chishi tufayli vujudga keladi. Bunda molekulalarning bir qatlamdan ikkinchi qatlamga impuls o'tishi ro'y beradi. Ravshanki,  $\bar{t}$  - "o'troq" muddati qancha kichik bo'lsa, sakrashlar shuncha ko'p bo'ladi, suyuqlik shuncha oquvchan (qovushoqligi kam) bo'ladi. Bu mulohazalar  $\eta$  uchun Frenkel-Andrade tenglamasiga olib keladi:

$$\eta = C e^{-\frac{n}{kT}}$$

Bunda  $C \sim \bar{\delta}$  (sakrash uzoqligiga),  $v$  tebranishlar chastotasiga, temperaturaga bog'liq. Lekin tenglamadagi  $\eta$  qovushoqlik temperatura ortishi bilan kamayadi (eksponensial).

2a. Qovushoqlikni aniqlash metodlari. Qovushoqlikni aniqlash asbobi - Viskozimetr deyiladi, uning ishlash tamoyili Puazeyl qonuniga asoslangan.

$$\text{a) Puazeyl qonuniga asosan } V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}.$$

b) Stoks metodi: sharchaning qovushoqlik muhitda tushish tezligi  $v = \frac{2}{9} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\eta} g a^2$ ,  $a$  - sharchaning radiusi. Bu formula mexanika kursida keltirib chiqarilgan edi.

Suyuqliklarda issiqlik o'tkazuvchanligi. Xuddi gazlardagidek, bu jarayon  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ -temperatura gradiyentiga proporsional bo'lgandagidek bo'ladi. Lekin gaz molekularining ilgarilanma harakatida to'qnashish natijasida energiya uzatilsa, suyuqliklarda tebranayotgan zarrachalarning to'qnashishi natijasida energiya o'zgaradi. Katta energiyaga ega molekula, katta amplituda bilan tebranib, boshqa molekulaga energiya uzatib, uni tebratadi va shu tariqa energiya uzatiladi. Shuning uchun ularning issiqlik o'tkazuvchanligi energiyaning tez uzatilishini ta'minlay olmaydi. Shuning uchun ham ularning issiqlik o'tkazuvchanligi uncha katta emas, lekin gazlarga nisbatan katta. Masalan, etil spirti uchun  $K=1,76 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ; havo uchun  $K=0,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  ga teng.

### §75. Suyuqlik chegarasida bo'ladigan hodisalar

Suyuqlikning boshqa muhit bilan tegishib turgan sirti, masalan, suyuqlik bug'i, idish devori bilan tegishib turgan sirti suyuqlikning boshqa qismidan boshqacha sharoitda bo'ladi. Sababi, molekularning o'rab turgan "qo'shni" molekular ta'siri har xil hajmda muvozanatlashgan ( $\sum \vec{F}_i = 0$ ), sirtida esa muvozanatlashmagan bo'ladi. Natijaviy hosil bo'lgan kuch suyuqlik ichiga yoki suyuqlik tutashgan muhit tomon yo'nalgan bo'lishi mumkin. Bu kuch ta'sirida suyuqlik qatlami siljiydi, taranglashadi va u qandaydir ish bajaradi.

Agar suyuqlik-suyuqlik bug'i bilan chegaralangan bo'lsa, unda  $n_{\text{bug}} \ll n_{\text{suyuq}}$  va  $r_b \gg r_s$ , bo'lgani uchun sirt qatlamdagi molekularga suyuqlik ichiga yo'nalgan kuch ta'sir qiladi. Sababi,  $F_s \gg F_b$ .

Xulosa: molekula sirt qatlamidan suyuqlik ichiga siljiganda musbat ish bajaradi  $A > 0$ . Aksincha, molekularning suyuqlik hajmidan uning sirtiga o'tishda manfiy ish bajaradi, ya'ni tashqi ish bajarish kerak ( $A < 0$ ).

Biror sabab bilan suyuqlik sirti ochilsin. Demak, qandaydir molekularning yana bir qismi hajmdan sirt qatlamga o'tadi. Suyuqlik sirtining ortishida manfiy ish bajariladi.

Suyuqlik sirtining qisqarishida musbat ish bajariladi. Agar sirt  $dS$  katalikka o'zgarsa

$$dA = -\sigma \cdot dS$$

(-) ishora  $dS > 0$  bo'lganda  $dA < 0$ , demak, sirt kattalashganda manfiy ish bajaradi.

$[\sigma] = \frac{dA}{dS}$ , ya'ni suyuqlik sirtini bir birlikka oshirish uchun kerak bo'lgan ishga sirt taranglik koeffitsiyenti deb aytiladi. Birliklari:

$$[\sigma] = \frac{J}{m^2}, \text{ va } [\sigma]_{\text{SI}} = \left[ \frac{\text{erg}}{\text{sm}^2} \right]$$

Bu aytilganlardan suyuqlik sirt qatlamining molekulari suyuqlikning hajmidagi molekularga qaraganda ortiqcha potensial energiyaga ega.  $U_s$  - bu energiya sirt molekularining suyuqlik hajmidagi molekularning tortishish ta'sirida suyuqlik ichiga siljishida bajarishi mumkin bo'lgan ish bilan o'lchanadi:

$$U_s = \sigma S \text{ yoki } dU_s = \sigma dS$$

$dS$  o'zgarsa,  $dA = -dU_s = -\sigma dS$ . Ish potensial energiyaning kamayish hisobiga bajariladi. Shuning uchun (-) ishora.

Agar  $T = \text{const}$  va jarayon qaytuvchan bo'lsa,  $dA = -dF$  (erkin energiyaning kamayishiga teng).

U holda  $\sigma = \frac{F}{S}$  ning sirtning yuza birligiga to'g'ri keluvchi erkin energiyasi deyish mumkin.

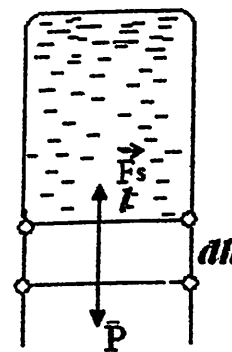
Sirt taranglik kuchlari sirt qatlami yuzasini kamaytirishiga, ya'ni minimum  $U_s$  ga,  $S$  min. ga qilishga harakat qiladi. Bu kuchlar sirtning o'zi bo'ylab, sirtga urinma ravishda yo'nalgan bo'ladi. Sirtni o'zgartirish va uni bo'lish uchun shu sirtning chizig'iga perpendikulyar bo'lgan kuch bilan ta'sir qilish kerak. Buni quyidagi misolda ko'rish mumkin (84-rasmga qarang):

$$dA = P \cdot dh = \sigma(dS), \text{ chunki } dA = \sigma 2l dh$$

$$\text{u holda } dS = 2l dh \text{ va bundan } P \cdot dh = \sigma 2l dh$$

$$\sigma = \frac{P}{2l} = \frac{F}{2l}$$

Demak, sirt taranglik koeffitsiyenti suyuqlikning erkin sirtini urinma bo'ylab ta'sir qiluvchi va ajralish chizig'ining uzunluk



84-rasm

birligiga to'g'ri keluvchi kuchga teng bo'ladi kattaligidir. Birligi:  $[\sigma] = 1 \frac{N}{m}, 1 \frac{dina}{cm}$

Endi sirt tarangligi yaqqol namoyon bo'ladigan tajribalarni ko'rib chiqamiz.

1. Plato tajribasi. Sirt yuzasini qisqartirishga intilish faqat suyuqlik pardasi uchun o'rinli bo'lmay, balki ma'lum hajmdagi suyuqlik uchun ham o'rinlidir. Masalan, suv tomchisi eng kichik sirtga ega bo'lgan shakl – shar shaklini olishga harakat qiladi. Suyuqlikda uning molekulari orasidagi ichki kuchlardan tashqari og'irlik kuchlari; suyuqlik molekulari bilan idish molekulari orasidagi kuchlar ta'sir qiladi.

a) Agar suyuqlikning sirt taranglik kuchi kichik bo'lsa, u og'irlik kuchi ta'sirida suyuqlik yoyilib, yupqa qatlam hosil qiladi. Bu esa sistemaning minimal energiyasiga to'g'ri keladi.  $F_{sirt\ tarang.\ kuchi} < P_{og.\ jr.}$

b) Agar og'irlik kuchining ta'siri min ga keltirsak, unda kichik bo'lsa ham, sirt taranglik kuchlari o'ynay boshlaydi.

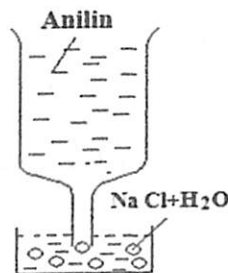
Bu holatni Plato tajribasida ko'rish mumkin (85-rasm). U og'irlik kuchi  $F_{erkin}$  kuchiga teng bo'lgan hol uchun, ya'ni zichliklari bir xil bo'lmay birinchi suyuqlikka ikkinchi suyuqlik tomchilari kiritiladi, ularda shar shaklidagi tomchilar hosil bo'lgach, suyuqliklar aralashmaydi ( $\rho_c = \rho_{ox}$ ). Bunday hol kosmosda, vaznsizlik holatda ham kuzatilgan.

2. Suyuqlik tomchilari. Kichik hajmlariga ega bo'lgan tomchilar shar shaklini olishga harakat qiladi.

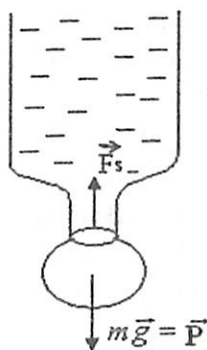
$\sigma \cdot l < P$  bo'lganda tomchi uziladi (86-rasm). Chegaraviy shartda  $\sigma \cdot 2\pi r = P$  va undan

$$\sigma = \frac{P}{2\pi r}, \text{ bu erda } r - \text{tomizg'ich radiusi.}$$

3. Ikkinchi muhitning ta'siri. Yuqorida suyuqlikning sirt energiyasi uni o'rab turgan muhitga ham bog'liq dedik. Demak, uning yuzida havo



85- rasm



86- rasm

(boshqa gaz) yoki uning bug'lari mavjud bo'lsachi? U holda  $\rho_{bug.\ gaz} \ll \rho_{suyuq}$ . Demak,  $F_{b.s.} \ll F_{s.s.}$ . Shuning uchun bu ta'sir suyuqlik sirtini kam o'zgartiradi. Agar suyuqlik boshqa suyuqlik bilan, yoki katta bosimdagi gaz bilan chegaralansa, u holda  $F_{b.s.}$  kuchlarini hisobga olish kerak bo'ladi. Bu esa uning sirt taranglik kuchini o'zgarishiga - kamayishiga olib keladi. Masalan: suv – havo -  $7,3 \cdot 10^{-3} N/m$ ;

suv – benzol -  $33,6 \cdot 10^{-3} N/m$ ;

suv – efir -  $12,2 \cdot 10^{-3} N/m$ .

Demak, suyuqlik sirti erkin bo'lganda sirt taranglik kuchi  $\sigma$  katta bo'lar ekan!

### §76. Ikki muhit chegarasidagi muvozanat shartlari Chegaraviy burchak

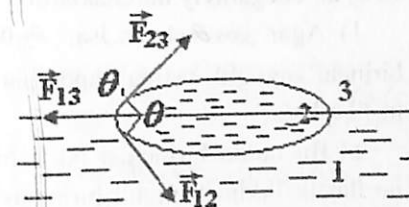
Bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuqlikning tegishish chegarasida yuzaga keladigan sharoitlarni ko'rib chiqamiz. Masalan, suv yuzida yog's tomchisi bo'lsin. Tomchi suv yuzida yasmiqsimon (chig'anoq) shaklni olishi yoki yupqa parda hosil qilishi mumkin (masalan: benzin, kerosin + suv). Qanday sharoitda yog'simon, qanday sharoitda yupqa parda hosil qilishini ko'ramiz;

1-muhit – 1-suyuqlik,  
2-muhit – 2-suyuqlik,  
3-muhit – havo + bug's, buni hisobga olmasak ham bo'ladi. Yog'simon tomchi sirtining chegarasi aylanadir. Bu aylananing  $dl$  elementiga uchta sirt taranglik kuchi ta'sir qiladi;

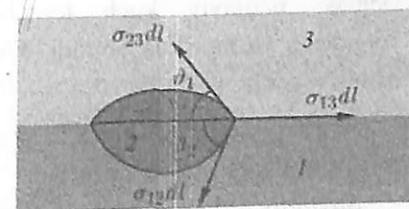
1)  $F_{12} = \sigma_{12} dl$  – 1 va 2-suyuqliklar orasidagi chegaradagi kuch;

2)  $F_{13} = \sigma_{13} dl$  – 1 suyuqlik va gaz chegarasidagi kuch;

3)  $F_{23} = \sigma_{23} dl$  – 2 suyuqlik- gaz chegarasidagi kuch.



87a- rasm



87 b- rasm

Amalda  $\sigma_{13} = \sigma_1$  va  $\sigma_{23} = \sigma_2$  deb hisoblash mumkin.

Ikkita suyuqlik sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun bu kuchlarning ixtiyoriy o'qqqa proeksiyasi 0 ga teng bo'lishi kerak.

$$\begin{cases} F_{13} = F_{23} \cos \theta_1 + F_{12} \cos \theta_2 \\ 0 = F_{23} \sin \theta_1 + F_{12} \sin \theta_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \sigma_{13} = \sigma_{23} \cos \theta_1 + \sigma_{12} \cos \theta_2 \\ 0 = \sigma_{23} \sin \theta_1 - \sigma_{12} \sin \theta_2 \end{cases}$$

Ikkala tomonini kvadratga ko'tarib, qo'shsak

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + 2\sigma_{12} \cdot \sigma_{23} \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$\theta_1 + \theta_2 = \theta$  bo'lgani uchun

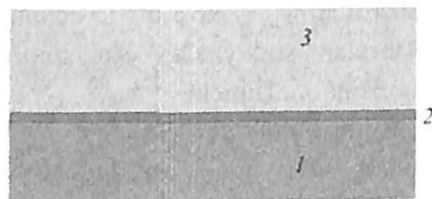
$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + 2\sigma_{12} \cdot \sigma_{23} \cos \theta - \text{kosinuslar teoremasiga asosan.}$$

Bu tenglamadan  $\sigma_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_1 + \theta_2 = \theta$  larni aniqlashimiz mumkin. Ikkinchi suyuqlik sirti va uning tegishayotgan birinchi suyuqlik sirtiga o'tkazilgan urinmalar orasidagi burchaklar *chegaraviy burchaklar* deyiladi. Demak  $\theta_1$  va  $\theta_2$  lar chegaraviy burchaklardir.

1) Agar  $\cos \theta = 1$  bo'lsa,  $\theta = 0$  bo'ladi. Bu holda ikkinchi suyuqlik birinchi suyuqlik ustida yupqa parda hosil qiladi.

a) Bu holda birinchisi ikkinchini ho'llaydi. Ikkinchi muhit birinchisini to'la ho'llaydi.

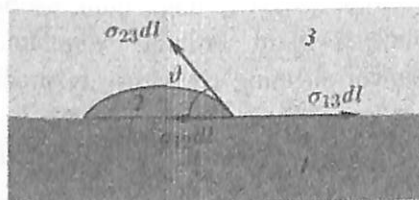
b) Bu holda  $F_{13} \geq F_{12} + F_{23}$ . Demak, natijaviy kuch tomchini yoyadigan yo'nalishda bo'ladi. (87c - rasm).



87 c- rasm

2) Agar  $F_{13} < F_{23} + F_{12}$  bo'lsa,  $F_{13} = F_{23} + F_{12}$  bo'lgunga qadar tomchi tortiladi (siqiladi) (87b-rasm)!

**Suyuqlik va qattiq jism chegarasidagi muvozanat shartlari.** Suyuqlik bilan qattiq jism tegishib turganda ham xuddi shunday hodisalar ro'y beradi. Bu holda uchta kuch: 1) og'irlik kuchi; 2)  $F_{s,s}$  - o'zaro ta'sir kuchi; 3)  $F_{s,q}$  - ta'sir kuchlari. Bu kuchlar munosabati



88 a- rasm

uchun chegaraviy burchak  $\theta$ , ya'ni suyuqlikning sirtiga u bilan qattiq jism chegarasida o'tkazilgan urinma hamda qattiq jism sirti hosil qilgan burchak  $\theta$  xarakteristikasi bo'la oladi (88a-rasm).

$$F_{13} = F_{23} \cos \theta + F_{12}$$

$$\cos \theta = \frac{F_{13} - F_{12}}{F_{23}} = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}}$$

1)  $\theta = 0$   $\cos \theta = 1$ . Agar  $\frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}} = 1$ ;  $\sigma_{13} - \sigma_{12} = \sigma_{23}$ ;  $\cos \theta = 1$ ;  $\theta = 0$ ! Bo'lsa qattiq jisa sirti bo'ylab suyuqlik yoyilib ketadi! Bunday hol  $\sigma_{13} - \sigma_{12} > \sigma_{23}$  bo'lganda kuzatiladi va tenglik bo'lguncha davom etadi.

Suyuqlikning to'la yoyilib ketish hodisasiga to'la ho'llash deb ataladi. Masalan, toza suv toza oyna ustida.

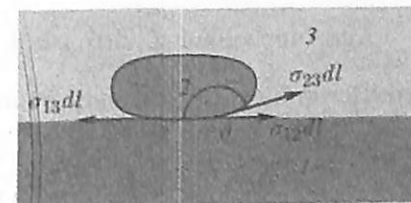
2)  $\cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}} < 0$ . Agar  $\theta = \pi$ ,  $\cos \pi = -1$ . U holda  $\sigma_{13} + \sigma_{23} = \sigma_{12}$ !

Bu hol qattiq jismning to'la ho'llanmaslik sharti bo'ladi (88b-rasm).

3) Agar  $\theta < \frac{\pi}{2}$  - qisman ho'llash ( $\cos \theta > 0$ );

4) Agar  $\theta > \frac{\pi}{2}$  - qisman ho'llamaslik bo'ladi ( $\cos \theta < 0$ );

Idishda suyuqlik o'zining og'irlik kuchi ta'sirida idish shaklini egallaydi. Lekin suyuqlik sirti bilan idish devori uchrashgan joylarda suyuqlik sirti egrilanadi va ho'llovchi suyuqliklarda botiq, ho'llamaydigan suyuqliklarda qavariq menisk hosil bo'ladi.



88 b- rasm

### §77. Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi kuchlar

Ko'p hollarda (ho'llashlar bo'lmaganda) suyuqlik sirti egrilangan bo'lar ekan. Bu esa shu sirt o'stida turgan suyuqlikka ta'sir qiluvchi kuchlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Masalan:  $r$  radiusli suyuqlikning shar shaklidagi tomchisini olaylik. Agar  $r \rightarrow$ ,  $S = 4\pi r^2 \rightarrow U_S = \sigma S \rightarrow$ .

Buning uchun ish bajarish kerak. Agar  $r \leftarrow, S \leftarrow, U_S \leftarrow$ . Bu holda ish tomchining o'zida ta'sir qilayotgan kuchlar tomonidan bajariladi. U losa shuki, bu holda sfera ostidagi suyuqlik hajmi birmuncha siqilgan bo'ladi va bu radial yo'nalgan yoki sirtga perpendikulyar yo'nalgan qo'shimcha bosim ta'sirida bo'ladi (88-rasm). Haqiqatda suyuqlikning sharsimon tomchisi shu bosim ta'sirida  $P_o$  o'z hajmini  $dV$  ga kamaytirsin. Bu holda sirt energiyasini kamayishi hisobiga  $dA$  ish bajariladi. Bu ish  $dA = PdV$  ga teng.  $dU_s = dF = \sigma dS$ . Sfera sirti  $S = 4\pi r^2$  va hajm

$V = \frac{4}{3}\pi r^3$  ga teng. U holda sirtning taranglashish natijasidagi o'zgarishi  $dS = 8\pi r dr$  ga hajmning o'zgarishi esa  $dV = 4\pi r^2 dr$  ga teng bo'ladi.

$PdV = \sigma dS$  bo'lgani uchun  $P \cdot 4\pi r^2 dr = \sigma 8\pi r dr$  va bundan

$$P \cdot r = 2\sigma, \text{ bundan } P = \frac{2\sigma}{r}.$$

Agar suyuqlikning sirti sferik bo'lmay, silindrik bo'lsa, u holda egrilanishi hosil bo'ladigan qo'shimcha bosim  $P = \frac{\sigma}{r}$  bo'ladi. Haqiqatda  $r$

radiusli  $l$  uzayishdagi silindr uchun, uning hajmi  $V = \pi r^2 l$  va sirti  $S = 2\pi r l$  ga teng. Ularning o'zgarishi

$dV = 4\pi l r dr$  va  $dS = 2\pi l dr$  teng bo'ladi.

$dA = P \cdot 2\pi l r dr$  dan  $dU_s = \sigma \cdot 2\pi l dr$  va undan

$$P = r = \sigma, P = \frac{\sigma}{r}.$$

Umumiy hol uchun, ya'ni absolyut sferik va silindrik bo'lmagan murakkab sirt uchun

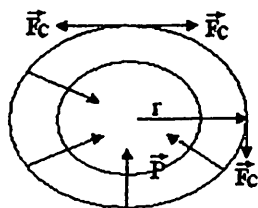
$$P = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \text{ bo'ladi.}$$

Bu ifoda Laplas tenglamasi deyiladi.

$r_1$  va  $r_2$  – sirtning berilgan nuqtasidagi, aniqrog'i sirtning shu berilgan elementar sirti uchun asosiy egrilik radiuslari.

Agar  $r_1 = r_2 = r$  sferik sirt;

Agar  $r_1 \rightarrow \infty$  yoki  $r_2 \rightarrow \infty$  bo'lsa, u holda silindrik sirt uchun bo'ladi.



89 - rasm

Bu qo'shimcha bosim hamma vaqt sirt egrilik markaziga yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun, qavariq sirtida  $P$  – suyuqlik ichiga yo'nalgan. Botiq sirtida  $P$  sirtidagi suyuqlikka nisbatan kichik bosim bo'ladi va suyuqlik sirtiga yo'nalgan.

$P$  bosimni  $F$  taranglik kuchlari bilan aralashtirish kerak emas.  $F$  – sirtga urinma,  $P$  – normal yo'nalgan bo'ladi va  $P$  bosimni  $F$  taranglik kuchlari vujudga keltiradi.

## §78. Kapillyar hodisalar

Suyuqlik molekullari bilan unga tegishib turgan qattiq jism molekullari orasidagi ta'sir kuchlari suyuqlik sirti chekka qismlarining egrilanishiga olib keladi. Sirtning qolgan qismlari yassiligicha qoladi.

Agar tor idishga suyuqlik quyilsa, u holda egrilanish butun sirt bo'yicha ro'y berishi mumkin. Agar suyuqlik qo'yilgan idishning o'lchamlari, ya'ni suyuqlikni chegaralovchi sirtlar orasidagi masofa suyuqlik sirtining egrilik radiusi bilan taqqoslanarli bo'lsa, u holda bunday idishlar kapillyar idishlar (qildak ingichka naycha) deb ataladi. Bunday idishlarda bo'ladigan hodisalar kapillyar hodisalar deyiladi. Sirtning egriligi tufayli vujudga keluvchi qo'shimcha bosim (Laplas) bosimi ta'sirida kapillyar siljish vujudga keladi. Idishning radiusi  $r$ , meniskning radiusi  $r_0$  ga teng bo'lsin, ya'ni  $r = r_0$ . Qo'shimcha bosim

$$P = \frac{2\sigma}{r_0} \quad (1) \text{ ga teng.}$$

Bu bosim  $P = \rho g h$  (2) gidrostatik bosimga teng.

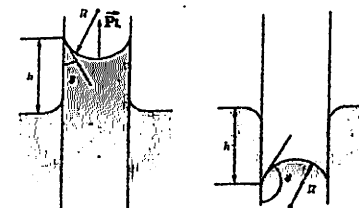
$\frac{2\sigma}{r_0} = \rho g h$  – muvozanat sharti bo'ladi.

$$\text{Bundan } h = \frac{2\sigma}{\rho g r_0} \quad (3)$$

bo'ladi.

Agar  $r \neq r_0$  bo'lsa,  $r_0 \cdot \cos \theta = r$ ;

$$r_0 = \frac{r}{\cos \theta} \quad (90\text{-rasm})$$



90 - rasm

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta \quad (4)$$

Agar  $\cos \theta = 1$  bo'lsa, u holda  $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$  bo'ladi.

Agar suyuqlik kapillyar idishni ho'llamasa, manzara teskari bo'ladi,  $h$  baribir (3) yoki (4) formula bilan aniqlanadi.

Kapillyarda suyuqlikning ko'tarilishi tabiatda asosiy rol o'ynaydi. Bosma qog'ozning suv shimishi, Yer-suv, daraxt-suv, hammasi shu mexanizmga asosan ishlaydi.

2. Kapillyar ko'tarilish silindrik idishda ham ro'y beradi.

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \text{ chunki } \begin{cases} P = \frac{\sigma}{r} \\ P = \rho g h \end{cases} \text{ edi.}$$

$r$  – kapillyar radiusi  $r = \frac{d}{2}$ .

$$R = \frac{d}{2 \cos \theta}, \text{ chunki } R \cdot \cos \theta = \frac{d}{2} \quad (91\text{-rasm}).$$

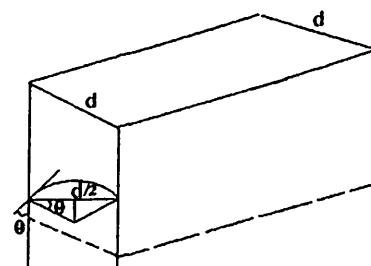
$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g \frac{d}{2}} \quad (6)$$

3. Pona shaklida qilingan ikkita plastinka orasida ham suyuqlik uni ho'llaganida kapillyar ko'tarilishni ko'rishimiz mumkin. Lekin  $x \rightarrow$  shisha plastinkalar orasidagi masofa kattalashadi va  $h \leftarrow$  kamayadi (92-rasm):

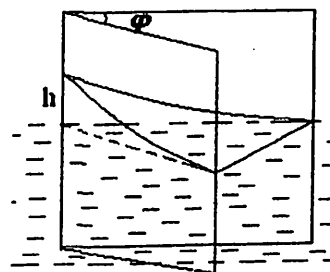
$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g d} \quad (1)$$

$d = \varphi x$  ekanligini (2) hisobga olsak,

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g d} = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g \varphi x} = \frac{C}{x} \quad (7)$$



91 - rasm



92 - rasm

$$C = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g} = \text{const} \text{ bo'lib, berilgan sistema uchun const dir. } x \rightarrow 0$$

holda  $h \rightarrow \infty$ . Lekin bu ham amalda mavjud emas. Sababi pona orasidagi masofani cheksiz kichik qilishning iloji yo'q.

4. Ho'llanadigan plastinkalar orasidagi tutinish kuchlari.

Ikkita plastinkalar ho'llansa, ular bir-biri bilan yopishib qoladi. Sirt egriligi tufayli yuzaga keladigan bosim bu holda manfiy bo'ladi.

Binobarin, suyuqlikdagi bosim  $\frac{\sigma}{r}$  ga kam bo'ladi. Shuning uchun plastinkalarga  $\frac{\sigma}{r}$  ga teng bosim ta'sir qiladi.

Misol: Agar  $S = 10 \text{ sm}^2$  bo'lsa,  $d$  suv qatlami  $10^{-4} \text{ sm}$  ( $\mu\text{m}$ ) bo'lsa:

$P = \frac{\sigma}{r} \approx 1,4 \text{ atm}$ . Egrilik radiusi  $r = \frac{d}{2}$  bo'ladi. Ular orasidagi tutinish kuchlari  $f = P \cdot S = 137 \text{ N}$ .

### §79. Sirt taranglik koeffitsiyentini o'lchashning ba'zi bir metodlari

1. Tomchining uzilish metodi.
2. Suyuqlikning yupqa pardasini tutib turuvchi kuchlarni o'lchash.
3. Kapillyarlarda suyuqlikning ko'tarilish metodi
4. Halqaning uzilish metodi.
5. Kapillyar to'lqinlar metodi.
6. Pufakcha metodi (Rebinder metodi).

**Kapillyar to'lqinlar metodi.** Kapillyar to'lqinlar – suv yuzidagi jimirlashlar.

Amplituda kichikligi tufayli og'irlik kuchi hisobga olinmaydi. Hisoblashlarga ko'ra  $v^2 \lambda^3 \rho = 2\pi \sigma$  ekan. Bundan

$$\sigma = \frac{v^2 \lambda^3 \rho}{2\pi}$$

$v$  – to'lqinni tebranishlar chastotasi;

$\lambda$  – to'lqin uzunligi;

$\rho$  – suyuqlikning zichligi.

Odatda  $v$  o'lchanadi  $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$  dir.

$$\sigma = \frac{v^2 \frac{v^3}{v^3} \rho}{2\pi} = \frac{v^3 \rho}{2\pi v} \quad (8)$$

### Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyentini Rebinder metodi bilan aniqlash

Suyuqlikning sirt qatlami suyuqlikning har qanday qatlamidan farq qiladi, chunki sirtga normal boʻlib, suyuqlikning ichiga yoʻnalgan molekulyar bosim kuchi taʼsir qiladi. Bu molekulyar bosim natijasida har qanday suyuqlikning erkin hajmi minimal sirtga ega boʻlishga harakat qiladi, berilgan hajmda esa – shar shaklini egallashga harakat qiladi. Molekulyar bosim taʼsirida berilgan suyuqlikning hajmi siqilgan holatda, sirt qatlami esa tarang tortilgan holatda boʻladi. Bunday hodisa sirtning taranglashish holatiga olib keladi.

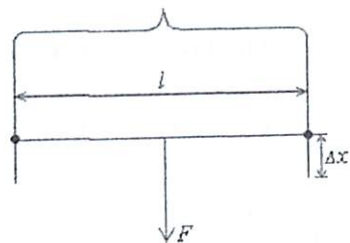
Sirt tarangligi ilmiy tomondan ham, texnikaviy nuqtayi nazardan ham juda qiziqarli va foydali xususiyatlarga ega, chunki bu jism molekularning tabiati bilan bogʻliqdir. Turli fizika-matematikaviy hodisalar-qattiq jism va suyuqlik sirtidagi fizika-kimyoviy reaksiyalar ham aynan ikki muhit chegarasida, yaʼni muhit sirtida sodir boʻladi. Shuning uchun sirt taranglikni oson bilish va ixtiyoriy ravishda uni oʻzgartira bilish juda katta ahamiyatga egadir.

Koʻpincha sirt taranglik suyuqlik-havo chegarasida oʻrganiladi, biroq, ikkinchi muhit-boshqa gazlar yoki suyuqlik boʻlishi ham mumkin.

Sirt qatlamining pardasi qisqarish xususiyatiga ega boʻlib, uni tarang tortib va muvozanat holatida ushlab turish uchun unga kuch taʼsir qilishi kerak:

$$F = 2\sigma l \quad (1)$$

bu yerda  $l$ -qatlam pardasi chegarasining uzunligi,  $\sigma$ -proporsionallik koeffitsiyenti boʻlib, shu ikki bir-biriga tegib turgan muhitning tabiatiga bogʻliq. Ammo shu qatlamdan bittasi oʻzgarmas muhit havo boʻlsa, u



92 - rasm

holda  $\sigma$ -faqat suyuqlikning tabiatiga bogʻliq boʻladi. Proporsionallik koeffitsiyenti  $\sigma$ -(havoga nisbatan oʻlchanayotgan) berilgan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti deb yuritiladi.

Agar sirt qatlami pardasini  $\Delta x$  kattalikka tortib oʻzgartirsak, (yaʼni  $F$  – kuch bilan taʼsir qilib), u holda  $\Delta A$  –ish bajargan boʻlamiz. Bunda yangi  $\Delta S = l \Delta x$  sirtga ega boʻlgan parda hosil boʻladi va bajarilgan ish

$$\Delta A = F \Delta x = \sigma l \Delta x = \sigma \Delta S \quad (2)$$

(1) va (2)-formulalar sirt taranglik koeffitsiyentining fizik maʼnosini tushuntirib berishga imkon beradi. (1) dan:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (3)$$

Demak,  $A$ -pardaning bir birlik uzunlikdagi suyuqlik qatlami zarrachalarning oʻzaro taʼsir kuchini ifodalaydi.

(2) ga asosan esa:

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (4)$$

bu yerda  $\alpha$ -suyuqlikning sirt parda yuzasini bir birlikka oshirish uchun kerak boʻlgan ishni koʻrsatadi. Sirt taranglik koeffitsiyentining (3) va (4) formulalarga asosan oʻlchamliligi quyidagicha:

$$(3) \text{ ga asosan: } [\sigma] = \frac{[F]}{[l]} = \frac{LMT^{-2}}{L} = MT^{-2}$$

$$(4) \text{ na asosan: } [\sigma] = \frac{[\Delta A]}{[\Delta S]} = \frac{L^2MT^{-2}}{L^2} = MT^{-2}$$

Sirt taranglik koeffitsiyenti:

SI sistemasida

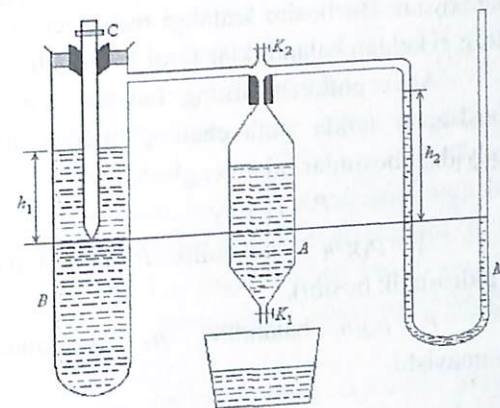
$$\frac{N}{m}; \quad \frac{J}{m^2}$$

SGS sistemasida

$$\frac{din}{sm}; \quad \frac{erg}{sm^2}$$

oʻlchanadi.

Sirt taranglik koeffitsiyentini tajribalarda juda koʻp usullar bilan aniqlash mumkin. Bu ishda tekshirilayotgan suyuqlikda



93 - rasm

havo pufakchasini uzilish usuli qo'llaniladi. Bu metodning qurilmasi rus akademigi P.A.Rebinder tomonidan ishlab chiqilgan.

Rebinder asbobining sxematik tasviri 93-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, asbob uch qismdan iborat.

B-idishga tekshirilayotgan suyuqlik quyiladi. Bu idish tiqinining ichiga uchi kapillar bo'lgan shisha trubka kirgizilgan. Bu trubkaning idish ichidagi vaziyatini rostlash C - vintli vtulka bilan bajariladi.

B-idish tekshirilayotgan suyuqlik sirti ustida bosimni pasaytirishga imkon beradigan A-aspirator bilan va bosimni o'zgarishini o'lchaydigan manometr M bilan tutashtirilgan.

Berilgan qurilmada tajriba quyidagicha olib boriladi. B-idishga tekshirilayotgan suyuqlik quyilgandan keyin, probka berkitiladi, kapillar esa suyuqlik ichida bo'ladi. Buning uchun, C-vintli vtulka yordamida naycha avval suyuqlikning sirtiga tekkiziladi, keyin C-vintli vtulkani belgisiga qarab shunday buraymizki, kapillar uchi turli-turli chuqurliklarga ( $h_1$ ) tushsin (shu asbobdagi rezba qadami 1 mm).

Aspirator-A,  $K_1$ -kran yopiq holda suvga to'ldirilgan bo'ladi, so'ng  $K_2$ -kran yopiladi. Shundan so'ng manometr M-ni tirsaklaridagi suyuqlik sathlarining bir xil ekanligiga ishonch hosil qilishimiz kerak ( $h_2=0$ ). So'ngra asta-sekin, juda ehtiyotlik bilan, kran- $K_1$  ochiladi va B-idishdagi bosimni shuncha kamaytirish kerakki, tashqi havo bosimi ta'sirida shisha nay orqali havo pufakchalari suyuqlik ichiga B-idishga o'ta boshlasin. Buning natijasida A va B idishlardagi suyuqliklari ustidagi bosim kamayadi. Bu bosim kattaligi manometr M-bilan o'lchanadi. Bu bosimga to'g'ri kelgan balandliklar farqi  $h_2$  bo'ladi.

Agar pufakchalarning havoda uzilishi yetarli darajada sekin-asta bo'lsa, u holda pufakchani uzilish joyida, ya'ni kapillyar uchida quyidagi bosimlar bilan tenglashadi:

$$P = P_1 + P_2 \quad (5)$$

$P_1 = \rho_1 g h_1$  balandlik  $h_1$  bo'lgandagi suyuqlik ustunining bosimi (gidrostatik bosim).

$P_2 = \rho_2 g h_2$  balandlik  $h_2$  bo'lganda idishdagi havo bosimining kamayishi.

$$P_2 = \frac{F}{S} = \frac{\sigma 2\pi r}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} \quad \text{sirt taranglik bosimi, bu erda } r\text{-kapillar radiusi.}$$

$\sigma$ -tekshirilayotgan suyuqlikning havoga nisbatan sirt taranglik koeffitsiyenti. Bosim qiymatlarini (5) tenglamaga qo'ysak:

$$\rho_2 g h_2 = \rho_1 g h_1 + \frac{2\sigma}{r} \quad (6)$$

bo'ladi.

(6) formuladan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyentini aniqlaymiz.

$$\sigma = \frac{1}{2} r g (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1) \quad (7)$$

$h_1, h_2, r$  lar qiymatini tajribadan o'lchab,  $\rho_1, \rho_2$ , va  $g$  ni qiymatlarini jadvaldan olib, tekshirilayotgan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyentini aniqlash mumkin.

Bosimlar farqini hisoblashda  $h_2$  ni pufakcha uzilish paytida, ya'ni  $h_2$ -maksimum qiymatga etgan vaqtda olish kerak.

Pufakchalar havodan juda sekin statsionar ravishda o'tishi kerak. Shu holdagina manometrda bosim farqi  $h_2$  ni aniq o'lchash mumkin.

Agar kapillarni suyuqlik ichiga tushirmay faqat suyuqlik sirtiga tekkizsak,  $h_1=0$  bo'ladi va sirt taranglik koeffitsiyenti aniqlash formulasi  $\sigma$  soddalashadi:

$$\sigma = \frac{1}{2} r g \rho_2 h_2 \quad (8)$$

Bu holda kapillarni shunday o'rnatish kerakki, u suyuqlikning ichiga botib ketmasdan, suyuqlik sirtiga tegib turishi kerak.

Agar B-idishga turli konsentratsiyali eritmalar solinsa, u holda, sirt taranglik koeffitsiyentining shu eritmalar konsentratsiyasiga bog'liqligi aniqlanadi.

Agar B-idishni termostatga joylashtirib, uni turli temperaturalargacha qizdirsak, u holda o'sha suyuqlik sirt taranglik koeffitsiyentini turli temperaturalarda aniqlash mumkin va shu suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyentini temperaturaga hamda eritmaning konsentratsiyasiga bog'liqlik grafiklarini tasvirlash mumkin.

Bu ishni bajarishda kapillarning radiusini aniq o'lchash kerak bo'ladi.

### §80. Sirt taranglik koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligi

Sirt taranglik koeffitsiyentini temperaturaga bog'liqligini ushbu elementar empirik formula bilan aniqlanadi:

$$\sigma = B(T_i - T - \tau) \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^2, T \rightarrow \sigma \leftarrow \text{(kamayadi)}.$$

Bu yerda  $\tau$  – temperatura o'lchamiga ega bo'lgan kichik tuzatma kattalik.

$$\frac{d\sigma}{dT} = -B \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^2 \frac{d\sigma}{dT} < 0, \text{ demak, } T \rightarrow \sigma \leftarrow, \text{ ya'ni, minus ishorasi}$$

temperatura ortishi bilan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti kamayishini ko'rsatadi. Shuningdek,

$$\rho \rightarrow \text{ da } \sigma \rightarrow,$$

$$\mu \rightarrow \text{ da } \sigma \leftarrow.$$

Barcha suyuqliklar uchun  $B \approx 2,1 \approx \text{const}$  dir.

Sirt taranglik koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligi temperatura ortishi bilan kamayishi molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarining kamayishi bilan bog'liq, chunki molekular orasidagi masofa ortadi, ularni orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari kamayadi.

### §81. Suyuqliklarning bug'lanishi

Van-der-Vaals tenglamasini ko'rganimizda, suyuqlik o'z bug'i bilan muvozanatda bo'lishini ko'rgan edik. Agar berk idishga suyuqlik solingan bo'lsa, u o'zining bug'i bilan muvozanatda bo'ladi. Bunday bug, *to'yingan bug'* deb ataladi. Bug,lanuvchi molekular  $A_1 = \int F_{mopm} \cdot dr$  va  $A_2 = P \cdot dV$  tashqi bug,ning bosimiga qarshi ish bajaradi. Bu esa molekularning kinetik energiyasi hisobiga bo'ladi, ya'ni  $\Delta E_k = A_1 + A_2$ .

Bunga molekularning bir qismi qodir! Bu holda (bug,lanishda) suyuqlik soviydi, ya'ni temperatura pasayadi, ichki energiya kamayadi. Agar u isitkichdan isitilib turilsa va  $T = \text{const}$  bo'lsa, bug,lanish bilan unga teskari jarayon ro'y beradi. Molekularning suyuqlikdan bug,ga o'tishi *bug'lanish* deyiladi. Molekularning bug,dan suyuqlikka o'tishi *kondensatsiya* deyiladi. Muvozanatda  $m_b$  va  $m_c = \text{const}$ , bug,lanish  $\Leftrightarrow$

kondensatsiya, ya'ni dinamik muvozanat vujudga keladi. Bug,ning bosimi uning *elastikligi* deyiladi. To'yingan bug,ning zichligi  $\rho \sim P$ ,  $P$  esa – *to'yingan bug'ning elastikligi* deyiladi.

Temperatura ortishi bilan bug,ning zichligi va bosimi ortadi.

*Bug'lanish yashirin issiqligi.* Suyuqlikning ma'lum miqdorini  $T = \text{const}$  da  $P = P_{mu'v}$  da bug,lantirish kerak bo'lgan issiqlik *bug'lanishning yashirin issiqligi* deyiladi.

1 kg suyuqlik to'la bug,lanishi uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori *bug'lanishning solishtirma yashirin issiqligi* deyiladi.

“Yashirin” deyilishiga sabab, issiqlik miqdori oshishi bilan temperatura o'zgarmaydi. Kondensatsiyada yashirin issiqlikka teng issiqlik miqdori ajralib chiqadi.  $T = T_k = \text{const}$  da

$$\lambda = \frac{\Delta Q_b}{\Delta m_b}$$

*Bug'lanishning yashirish issiqligini o'lchash.* U o'quv

laboratoriyasida mavjud ishdagi kabi energiyaning saqlanish qonuniga asoslanadi:

$$Q_{bug'} = m_b \lambda + m_b c (t_k - \theta)$$

3.  $\lambda \sim T$  ga bog'lanishi.

$T = T_k$  da suyuqlik bilan bug,, orasida farq qolmaydi. Demak, butun bug,lanishning yashirin issiqligi nolga teng.

Sababi,  $T \rightarrow, r \rightarrow, f \leftarrow, A \leftarrow, \lambda \leftarrow.$



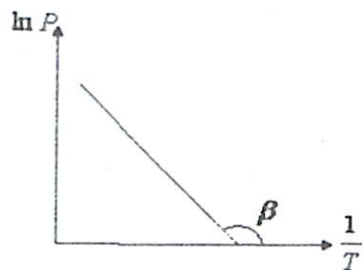
94 - rasm

### §82. To'yingan bug'lar elastikligini temperaturaga bog'liqligi

To'yingan bug,larni elastikligi  $P_{to'y. bug'} \sim T$ . Bu bog,lanish taxminiy ravishda Boltsman qonuniga asosan aniqlanadi.  $U$  potensial energiyaga ega bo'lgan molekular konsentratsiyasi

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}} \quad (1)$$

Sababi, buglanish – bu tasodifiy voqelikdir. Uning ehtimolligi Boltzman qonuni bilan aniqlanadi. Suyuqlikda chiqqan molekula  $A = \lambda$  ish bajaradi. Agar molyar buglanish issiqligi  $L = N_0 \lambda$  desak, molekulaning energiyasi  $\frac{L}{N_0}$  ga farq qiladi. U holda bug, holatidagi molekularning konsentratsiyasi



95 - rasm

$$n_b = n_s e^{-\frac{L}{N_0 k T}} \quad (2)$$

$n_s - U = 0$  bo'lgan suyuqlik molekularining konsentratsiyasi.

$$n_b = \frac{P_b}{kT} \text{ bo'lgani uchun } P_b = n_b kT = n_s kT e^{-\frac{L}{N_0 k T}} \quad (3)$$

Demak, temperatura ortishi bilan bosim eksponensial ortadi. Lekin  $\sim L$  ham,  $\sim n_s$  ham  $\sim T$  ga bog'liq. Amalda (3) tenglamani quyidagicha yozishadi:

$$\ln P = -\frac{L}{RT} + \ln T + \ln(kn_s) \quad (4)$$

yoki

$$\ln P = -\frac{L}{RT} + \ln T + C, \quad N_A k = R \text{ deb olindi.}$$

$C = \ln(kn_s)$  berilgan suyuqlik uchun const. Agar  $\ln T \sim$  sekin o'zgaruvchan had ekankigi hisobga olsak,

$$\ln P \approx -\frac{L}{RT} + C$$

95-rasmdagi Grafikdan grafik tikligi  $\operatorname{tg} \beta = \frac{L}{R}$  teng bo'ladi va undan  $L$  ni aniqlash mumkin.

### §83. Suyuqlikning egri sirti ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi

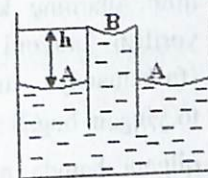
Suyuqlik sirtining xossalari buglanish intensivligini xarakterlaydi va buglanish bilan suyuqlik muvozanatini belgilaydi. Agar suyuqlik sirti egirilansa va har qanday tomchida buglanish bo'lsa,  $S \leftarrow U_S \leftarrow$ . Sistema minimal energetik holatga intiladi. Yassi sirtli berk idishda suyuqlik

tomchisi bo'lsa, u holda batamom buglanib, yassi sirtni bir qismi kondensatsiyalanganidan keyingina muvozanat qaror topadi. Bu degan so'z sferik tomchi ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi qolgan suyuqlikning yassi sirti ustidagi elastikligidan katta deganidir. Qavariq sirtlarda shunday bo'ladi, botiq sirtlarda yassi sirtlardagidan kichik bo'ladi. Bularni hisoblab ko'ramiz.

Masalan: Suyuqlik ustunining ko'tarilish balandligi

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (1)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda  $r$  – menisk radiusi.  $B$  dagi bosim  $P$  bo'lsin,  $A$  dagi bosim  $P_0$  bo'lsin (96-rasm).



96 - rasm

Barometrik formulaga asosan

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho g h}{RT}} \quad (2)$$

Agar  $P_B = P_A$  bo'lsa edi, unda  $P_B > P_{fazo}$  va uzluksiz bug, oqimi vujudga kelishi va abadiy dvigatel qurish mumkin bo'ladi. Demak,  $P_B = P_A$ .

Kapillyar nay ustidagi bosim  $P = P_0 e^{-\frac{\mu}{\rho RT} \frac{2\sigma}{r}}$  yoki

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{\mu}{\rho RT} \cdot \frac{2\sigma}{r} \quad (3)$$

$P_0$  – sirt yassi ( $A$ ) bo'lgandagi bosimi,

$P$  – egri sirt (botiq) ustida bug, bosimi.

$\ln P - \ln P_0 \approx P_A - P_B = P_0 - P = \rho_0 g h$  desak, bu yerda  $\rho_0$  – bug, zichligi.

$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$  bo'lgani uchun  $P - P_0 \ll P_0$

$$P_0 - P = \rho_0 g h = \rho_0 g \cdot \frac{2\sigma}{\rho_0 g r} = \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (4')$$

$$P = P_0 - \frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (4)$$

Shunday qilib, botiq sirt ustidagi to'yinmagan bug'ning bosimi yassi sirt ustidagi bosimdan  $\frac{2\sigma}{r} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}$  kattalikka kichik bo'ladi, qavariq sirtida esa

aksincha. (4) tenglamada  $g$  ham,  $h$  ham tenglamaga kirmagan, faqat  $r$  kirgan. Shuning uchun bu formula suyuqlik erkin sirti uchun o,rinlidir.

### §84. Suyuqlikning qaynashi

Suyuqlikning keskin holda butun hajm bo,yicha bug,, pufakchalari hosil qilib, ularning kattalashishi va suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilish jarayoni *qaynash* deb ataladi. Suyuqlikdan  $\rho_{zich}$  kam bo,lgan (fulukuatsiya tufayli) joylarda pufakchalar hosil bo,ldi. Pufakcha to,yingan bug,,li idishchadir.  $P_{bug} \geq P_{at}$  bo,lganda,  $F_A = \rho V g$  kuch ta'sir qilgani hamda pufakcha kattalashib, bosimlar farqi ta'sirida yuqoriga harakat qilib pufakchalar yorilishi uchun  $P_{bug} \geq P_{at}$  bo,lishi kerak. Bu esa qaynash shartidir.

Normal holatda ( $1 atm = P_b$ ) da  $t = 100^\circ C$  da  $P_k = 1 atm$  ga teng. Agar  $P \sim 1 atm$  desak, unda suv  $t \approx 100^\circ C$  da qaynashi mumkin. Klapeyron-Klaziuz formulasi – to,yingan bug,, elastikligining temperatura bo,yicha o,zgarish formulasi  $\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}$  edi.

Agar qaynaganda  $P_{bug} = P_{at}$  desak, unda  $T_k \sim P$  olsak bo,ldi, ya'ni  $\frac{dT}{dP} = \frac{(V_2 - V_1)T}{L}$ .

**Suyuqlikning o'ta qizishi.** Agar bosim ortishi bilan qaynash temperaturasi oshsa, a)  $P_i = P_u + \Delta P$ , u holda  $T_i' > T_k$ . b)  $P_i > P_u$ ,  $T_i' > T_k$ . Bunday suyuqlik temperaturasi  $100^\circ C$  dan katta bo,lganda ham qaynamasligi mumkin, ya'ni pufakcha paydo bo,lmaydi.

### §85. Suyuq eritmalar

Toza suyuqliklar yagona turdagi molekulalardan iborat bo,lib, ular amalda kamroq qo,llaniladi. Ko,pincha turli moddalarning aralashmasidan iborat suyuqliklar ko,riladi. Agar bu aralashmada moddalardan biri ko,p miqdorda bo,lsa, u holda bu aralashma *eritma*, ko,p miqdordagi modda esa *erituvchi* deb ataladi. Biz eng sodda hol–ikki modda–erituvchi va erigan moddadan tashkil topgan eritmalarini ko,ramiz.

**Konsentratsiya.** Eritmaning miqdoriy tavsifi – konsentratsiya degan kattalik bilan xarakterlanadi va uning quyidagi usullari mavjud:

1. Og,irlilik ulushi – erigan modda og,irligining (massasining) butun eritma og,irligiga (massasiga) nisbati bilan o,lanadi va u *og'irlilik bo'yicha konsentratsiya* deyiladi.
2. Molyar ulushi – erigan modda mollari sonini eritmaning umumiy mollar soniga nisbatidir. Bu foizlarda *molyar konsentratsiya* deyiladi:  $C_r = \frac{v_1}{v_1 + v_2} = \frac{N_1}{N_1 + N_2}$ . Bu erda  $v_1$ –erigan moddaning mollar soni va  $N_1$ –molekulalar soni,  $v_2$ –erituvchining mollar soni va  $N_2$ –uning molekulalar soni.
3. Molalik–1000 gr erituvchida erigan modda mollari soni. Ko,pincha eritmaning konsentratsiyasi uning zichligi bilan tavsiflanadi, zichlik esa areometr yordamida o,lanadi. Masalan, avtomobil akkumulyatorlaridagi kislota konsentratsiyasi zichlik orqali o,lanadi.

Ba'zi hollarda moddalar bir-birida nisbatan cheksiz miqdorda erishi mumkin. Masalan spirt-suv. Lekin ko,p eritmalarda biror maksimal konsentratsiyagacha eriydi. Bu konsentratsiya *eruvchanlik* deb ataladi. Maksimal konsentratsiyali eritma to,yingan eritma deb ataladi (masalan: suv- $NaCl$ ). Eruvchanlik temperaturaga va bosimga bog,liq. Temperatura ortishi bilan eruvchanlik ortadi, bosim ortishi bilan eruvchanlik kamayadi.

**Erish mexanizmi.** Erish jarayonida erituvchi  $A$  moddada eruvchi  $B$  modda molekulalari orasidagi o,zaro ta'sir kuchlari asosiy rol o,ynaydi, ya'ni  $f_{AA}, f_{BB}, f_{AB}$  kuchlarning qiymati va konsentratsiyaning kattaligiga ham bog,liq.

**Erish issiqligi.** Erituvchi moddaning zarralarga ajralib, eritma zarralari bilan aralashib ketishi uchun energiya sarflanishi kerak bo,ldi. Bu esa eruvchi va erituvchi zarralari orasidagi o,zaro ta'sir kuchlariga bog,liq bo,lib, bu kuchlar shu jarayonda ish bajaradi, energiya sarf qilinadi va bu energiya *erish issiqligi* deb ataladi. Birligi ko,pincha J/mol larda o,lanadi. Erish issiqligi ichki energiya hisobiga bo,lgani uchun eritma soviydi (masalan, suv- $NaCl$ ). Qator hollarda erish jarayonida eritmalar isiydi, ya'ni erish jarayonida energiya ajralib chiqadi. Bunda  $f_{AB}$  kuchlari  $f_{AA}, f_{BB}$  kuchlarga nisbatan katta bo,lgani uchun  $A$  va  $B$  modda zarralari bu

kuch taʼsirida bir-biriga nisbatan katta tezlik bilan harakat qiladi va uning ichki energiyasi, temperaturasi ortadi.

Shunday eritmalar mavjudki, unda erish jarayonida issiqlik ajralmaydi ham, yutilmaydi ham. Bu holda  $f_{AA}$ ,  $f_{BB}$  va  $f_{AB}$  kuchlar bir xil boʻladi va bunday eritmalar *ideal eritmalar* deb ataladi. Masalan, metil spirt, etil spirt, benzol-toluol.

**Ideal eritma ustidagi toʻyingan bugʻlarning elastikligi.** Eritgan modda eritma sirtida boʻlgani uchun, bugʻlanayotgan eruvchi va erituvchi molekularining soni va bosimi mos ravishda eritma komponentalarining konsentratsiyasiga bogʻliq boʻladi. Agar  $B$  modda  $A$  erituvchida erigan boʻlsa, ularning konsentratsiyalari mos ravishda  $n_V$  va  $n_A$  boʻlsa, u holda eritma ustidagi bugʻlarning parsial bosimlari quyidagicha ifodalanadi:

$$P_A = n_A \cdot P_A^0 = \frac{v_A}{v_A + v_B} \cdot P_A^0 \quad \text{va} \quad P_B = n_B \cdot P_B^0 = \frac{v_B}{v_A + v_B} \cdot P_B^0.$$

Bu yerda  $v_A$  va  $v_B$  – mos ravishda  $A$  va  $B$  moddalarning mollar soni,  $P_A^0$  – toza  $A$  moddaning shu temperaturadagi toʻyingan bugʻlarning bosimi;  $P_B^0$  – toza  $B$  modda ustidagi toʻyingan bugʻ, bosimi. Yuqorida keltirilgan tenglamalar Raul qonunini ifodalaydi. Bu qonun kuchsiz eritmalar uchun oʻrinlidir. Kuchli va real eritmalarda bu qonun bajarilmasligi mumkin.

**Genri qonuni.** Eritgan moddaning eritma ustidagi toʻyingan bugʻ, bosimi shu moddaning eritmadagi konsentratsiyasiga proporsional:

$$P_{e.m.} = k n_{e.m.} = P_{e.m.}^0 \cdot n_{e.m.},$$

bu yerda  $k$  – ideal eritmalar uchun shu temperaturadagi toza modda ustidagi toʻyingan bugʻ, bosimiga teng boʻlgan konstantadir.

Toʻyingan bugʻ,da eritmada bugʻ,ga oʻtayotgan molekular soni bugʻ, dan eritmaga oʻtayotgan molekular soniga teng. Shuning uchun suyuqlikda erigan moddaning eritmasi uning eritma ustidagi bosimiga proporsional boʻladi:

$$n_{e.m.} = \frac{1}{P_{e.m.}^0} \cdot P_{e.m.} = k' P_{e.m.}$$

Bu ifoda *Genri qonuni* deb ataladi. Bu qonun ideal eritmalar, yaʼni Raul qonuni oʻrinli boʻlgan eritmalar uchun oʻrinlidir. Real eritmalarda Genri qonunidan chetlashishlar boʻladi.

**Eritmalarning qaynash temperaturasi.** Eritgan modda nisbatan uchuvchan boʻlmasa, u holda eritma ustidagi bugʻ, asosan erituvchi

zarralaridan iborat boʻladi. Natijada eritma ustidagi bugʻ, bosimi sof erituvchi ustidagi bugʻ, bosimidan kichik boʻladi. Demak, eritmaning qaynash temperaturasi ham oʻzgaradi. Sababi, qaynash temperaturasi – bu suyuqlik toʻyingan bugʻ,larining bosimi tashqi bosimga teng boʻladigan temperaturadir.



**Kavendish Genri (1731–1810)** – ingliz fizigi va ximigi. Fizikadagi ilmiy ishlari elektrga bagʻishlangan. U birinchi boʻlib (1771), elektr zaryadlarining oʻzaro taʼsir kuchi oraliq masofa kvadratiga teskari proporsionalligini koʻrsatdi. U sigʻim tushunchasini kiritdi, muhitning kondensator sigʻimiga taʼsirini oʻrganib, qator moddalarning dielektrik singdiruvchanligini aniqladi. Tajribada Butun olam tortishish qonunini tasdiqladi. Toza vodorod hosil qildi. Eritmalarni oʻrgandi. Havoda kislorod tarkibini aniqladi, suvning tarkibini oʻrganib, uni sunʼiy hosil qilish mumkinligini koʻrsatdi.

U holda eritmaning qaynash temperaturasi sof erituvchining temperaturasidan yuqori boʻladi. Qaynash temperaturasining oʻzgarishi Klauzius-Klapeyron tenglamasidan foydalanib quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta T_q = \frac{RT_q^2}{r} \cdot n_{e.m.}$$

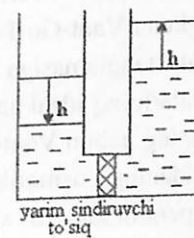
Bu yerda  $\Delta T_q$  – eritma va sof erituvchining qaynash nuqtalari orasidagi farq,  $r$  – sof erituvchining molyar bugʻlanish issiqligi va  $n_{e.m.}$  – eritmaning konsentratsiyasi (erigan moddaning ulushi).

Agar molyar massa konsentratsiyasi oʻrniga molalik konsentratsiya kiritilsa, yuqoridagi formula quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$\Delta T_q = \frac{RT_q^2 \mu m_0}{1000r},$$

bu yerda  $\mu$  – erigan moddaning molyar massasi,  $m_0$  – eritmaning molalik konsentratsiyasi.

Bu tenglikka asosan qaynash temperaturasining oʻzgarishiga qarab erigan moddaning molyar massasi  $\mu$  ni aniqlash mumkin. Yana shuni taʼkidlash joizki, yuqoridagi tenglamalar kuchsiz eritmalar uchun oʻrinlidir.



97 - rasm

## §86. Osmotik bosim

Bir idishda eritma va sof erituvchi boʻlsa, ular bir-biriga tegib tursa, erigan moddaning zarralari erituvchiga oʻta boshlaydi. Bu jarayon eruvchi moddaning eritmaning butun hajmi boʻylab tekis taqsimlangandagina tugaydi. Bunday jarayon turli konsentratsiyali ikki eritma bir idishda boʻlganda ham roʻy beradi, yaʼni erigan modda zarralari yuqori konsentratsiyali eritmada past konsentratsiyali eritmaga diffuziyalanadi va bu jarayon butun hajm boʻyicha konsentratsiya tenglashguncha davom etadi. Turli konsentratsiyali eritmalar orasiga toʻsiq qoʻyilsa, unga taʼsir etuvchi bosimni konsentratsiyalar yoki bosimlar farqiga ega boʻlgan gazlarning toʻsiq devorga bergan bosimiga oʻxshatish mumkin. Agar sof erituvchi bilan eritma orasiga yarim singdiruvchi toʻsiq, yaʼni erituvchi oson oʻtadigan, lekin erigan modda oʻta olmaydigan toʻsiq qoʻyilsa, u holda yuqorida zikr etilgan bosimni kuzatish mumkin. Bu holda erituvchi eritmaga oʻtadi va idishning eritma turgan qismida eritma sathi koʻtariladi. Erituvchini eritmaga oʻtishi osmos va erigan moddaning yarim singdiruvchi toʻsiqqa koʻrsatgan bosimi osmotik bosim deb ataladi. Vujudga kelgan gidrostatik bosim ( $\rho gh$ ) osmotik bosimga tenglashguncha eritma sathi koʻtariladi. Toʻsiqning har ikki tomonida sathlarning saqlashga zarur boʻlgan bu bosim qiymati osmotik bosimga teng boʻladi:  $\rho gh = P_{osm} = \pi$

Tajribadan maʼlum boʻldiki, osmotik bosim  $\pi$  eritmaning konsentratsiyasiga toʻgʻri proporsional va uning hajmiga teskari proporsional ekan. Vant-Goff bu bogʻlanishni quyidagicha ifodaladi:

$$\pi V = \nu RT$$

Bu erda  $V$  – eritmaning hajmi,  $\nu$  – erigan modda mollari soni. Bu tenglama Vant-Goff qonuni deb yuritiladi. Vant-Goff tenglamasi ideal gaz holat tenglamasiga oʻxshaydi va kuchsiz eritmada erigan modda zarralarining ideal gaz molekullari kabi tabiatga ega ekanligini koʻrsatadi. Shuning uchun Vant-Goff qonunini quyidagicha taʼriflash mumkin: Erigan moddaning osmotik bosimi shu moddaning gazsimon holatda shu temperaturada va xuddi shunday hajmda koʻrsatishi mumkin boʻlgan bosimga tengdir. Demak, osmotik bosim yarim singdiruvchi toʻsiqning turiga ham, eritmaning turiga ham bogʻliq emas. Molyar konsentratsiyalari

bir xil boʻlgan har qanday eritmalarining osmotik bosimi bir xil. Shuni taʼkidlash joizki, agar eruvchi modda erish jarayonida ionlarga ajralsa, unda Vant-Goff qonuni oʻrinli boʻlmaydi. Demak, tuz, ishqor, kislotalarning eritmasi uchun Vant-Goff qonuni oʻrinli emas.

Osmotik bosim odam, hayvonlar va oʻsimliklar hayotida katta rol oʻynaydi. Toʻqima va hujayralarda moddalarning erishi, soʻrilishi osmotik bosimga bogʻliq.

### Bob yuzasidan nazorat savollar

1. Bugʻlanish nima?
2. Bugʻlanish qanday faktorlarga bogʻliq?
3. Bugʻlanishda bajarilgan ish. Bugʻlanishning solishtirma yashirin issiqligi.
4. Qaynash. Nima uchun pufakchalar hosil boʻladi?
5. Bugʻ bosimining temperaturaga bogʻliqligini termodinamik isboti.
6. Suyuqlikning egri sirti ustidagi toʻyingan bugʻi elastikligi.
7. Suyuqlikning oʻta qizishi.
8. Kondensatsiya. Kondensatsiyada ajralib chiqadigan issiqlik miqdori.
9. Sirt taranglik kuchi nima va nima uchun mavjud?
10. Sirt energiyasi.
11. Erkin energiya.
12. Sirt taranglik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
13. Sirt taranglik koeffitsiyentini moddaning tabiatiga va temperaturaga bogʻliqligi.
14. Hoʻllanish va hoʻllanilmaslik.
15. Sirt taranglik kuchlarining ahamiyati.
16. Sirt egrilik radiusi va kapillyar hodisalar.
17. Suyuqlik yuza sirtining egrilanushi va uning bugʻ bosimiga taʼsiri.
18. Sirt taranglik koeffitsiyentini aniqlash metodlari:  
a) Tomchi usuli; b) Halqaning uzilish metodi;  
c) Kapillyarda suyuqlikning koʻtarilishi metodi;  
d) Rebinder metodi; e) Optik metod.
19. Sirt taranglik koeffitsiyentining birliklari.
20. Ichki ishqalanish deb nimaga aytiladi?
21. Nima uchun ichki ishqalanish mavjud?
22. Molekulalar orasidagi taʼsir kuchlari?

23. Suyuqliklarda ko, chish hodisalari.
24. Suyuqlik molekullarning bir-biriga impuls uzatish mexanizmi.
25. Ichki ishqalanish koeffitsiyentining moddaning tabiatiga va temperaturaga bog, liqligi.
26. Stoks kuchi. Stoks formulasi.
27. Puayzel formulasi.
28. Reynolds soni va uning fizik ma'nosi.
29. Ichki ishqalanishning suyuqlik oqimiga ta'siri.
30. Ichki ishqalanishning ahamiyati.
31. Ichki ishqalanish koeffitsiyentining birliklari.
32. Sirt energiyasi va sirt taranglik koeffitsiyenti
33. Sirt taranglik koeffitsiyentini aniqlash usullari.
34. Sirt taranglik koeffitsiyentini modda turiga va temperaturaga bog, liqligi.
35. To, yingan va to, yinmagan bug, xossalari.
36. Genri qonuni.
37. Raul qonuni
38. Osmos nima?
39. Osmotik bosm.
40. Vant-Goff qonuni.

## VIII BOB. QATTIQ JISMLAR

### §87. Qattiq jismlarning xossalari va xususiyatlari

Moddaning qattiq holatida uning zarrachalari orasidagi o, zaro ta'sir energiyasi ularning kinetik energiyasidan juda katta bo, lishi, uning zarrachalarining harakatini chegaralab qo, yib, uning shaklga ega bo, lishiga olib keladi.

Qattiq jismlar kristall jismlar hamda amorf jismlarga bo, linadi. Amorf jismlar shaklga ega bo, lib, ularning ko, p xossalari suyuqlik xossalariga o, xshash bo, ladi. Ularning xossalari yo, nalistga bog, liq bo, lmaydi. Amorf jismlarga shisha, smola, plastmassa va boshqa jismlar misol bo, lishi mumkin.

Amorf jismlar qizdirilganda, ular asta-sekin yumshab, suyuq holatiga o, tishi mumkin va keyinchalik u suyuqlikning xossalariga bo, ysunadi, xususan oquvchanlik xususiyatiga ega bo, ladi.

Lekin, "haqiqiy" qattiq jismlar – metallar asta-sekin yumshab, suyuqlikka aylanmasdan, aniq bir temperaturada susyuqlikka aylanadi, ya'ni eriydi. Uning bu temperaturasi erish temperaturasi deyiladi.

Har xil metallarning tuzilish strukturasi, ular atomlarining orasidagi masofa har xil bo, lgani uchun ularning erish temperaturasi ham har xil bo, ladi. Shuningdek, kristall jismlar, xususan, metallarning xossalari har xil yo, nalistlarda har xil bo, lish xususiyatiga ega, ya'ni ular anizotrop moddalardir. Fizik xususiyatlari yo, nalistlarga bog, liq bo, lmagan jismlar izotrop jismlar deyiladi.

Metallar ikki xil turga bo, linib, ular monokristallar va polikristallar deyiladi. Monokristalllarda ularni tashkil qilgan zarrachalar ularning butun hajmi bo, yicha muayyan tartibda joylashgan bo, ladi. Ularning zarrachalari atomlar, ionlar, molekullar bo, lishi mumkin. Shuning uchun ular metallar, ionli kristallar, molekulyar kristallar deb ham ataladi.

Monokristallar xossalariga ko, ra asosan anizotrop moddadir. Polikristallar esa zarrachalar kichik hajmlarda muayyan tartibda joylashgan kichik kristallchalardan tashkil topgan bo, lib, ularning xossalari yo, nalistlarga bog, liq emas va ular izotrop moddalardir.

Suyultirilgan, ya'ni eritilgan moddalar qotish jarayonida, ya'ni kristallanish jarayoni sharoitlariga qarab, monokristall yoki polikristall

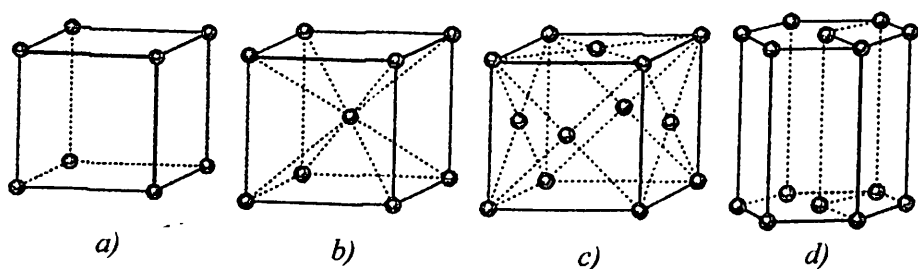
boʻlishi mumkin. Bu jarayonga temperatura gradiyenti hamda modda tarkibi boshqa modda zarrachalarining boʻlishi kuchli taʼsir qiladi.

### §88. Kristall panjaralar

Avvalgi mavzuda taʼkidlanganimizdek, kristall moddalarda ularning zarrachalari ularning jahmi boʻyicha (orasida) muayyan tartib bilan joylashgan. Ularning zarrachalarini xayolan birlashtirsak, panjara hosil boʻladi va bu panjara kristall panjara deyiladi. Zarralarining muvozanat holatida joylashgan nuqtalari kristall panjara tugunlari deyiladi. Kristall panjaraning eng kichik bir elementi, ("katakchasi"), uning elementar yacheykasi deyiladi. Uni oʻziga oʻzi parallel koʻchirish asosida butun jismning kristall panjarasini hosil qilish mumkin.

Shuning uchun ham, kristall jismlar simmetriyaga ega boʻladi. Kristallarning simmetriyasi, ularning turlari 1867-yilda A.V.Gadolin tomonidan oʻrganilib, ularni 32 xil kombinatsiyali simmetriyalarga ajratish mumkinligini koʻrsatdi va ularni simmetriya sinflari deb atadi.

Kristallarning elementar fazoviy panjara turlari O.Brave tomonidan oʻrganilib, ular Brave panjaralari deb ataldi va shartli ravishda 14 xil turga boʻlindi. Bu panjaralarning eng koʻp uchraydigan turlari 98-rasmda keltirilgan.



98 - rasm.

Ulardan eng soddasi kub shaklida boʻlib, bunday panjaraga Na, K, NaCl, KCl lar ega (98a-rasm). Hajmiy markazlashgan kub panjarada kub markazida bitta atom joylashgan boʻladi (98b-rasm). Bunday kristall panjaraga W, Ta, Nb va boshqa metallar ega. Yoqlari markazlashgan kub panjaraga Au, Pt, Co, Ni, Ir va boshqa metallar panjaralari misol boʻladi (98c-rasm). Bunda kub panjara tugunlarida hamda kub yoqlari markazida ham kristall atomlari joylashgan boʻladi.

Nisbatan murakkab kristall panjara – bu geksagonal zich joylashgan kristall panjaradir (98d-rasm). Bu kristall panjara 6 yoqli prizma koʻrinishida boʻlib, har 6 yoq tugunlarida, hamda 6 yoq markazida ham atomlar joylashgan boʻladi. Bunday kristall panjaraga Ti, Zr, Hf kabi metallar ega.

Bu tur kristall panjaralar eng sodda tuzilishga ega boʻlgan va toza kirishmasiz metallar uchun oʻrinlidir. Lekin-qator metallar va aralashmali metallar-qotishmalar uchun tetragonal, rombik, romboedrik, triklinal va boshqa turdagi kristall panjaraga ega.

### §89. Kristallarda tekislik va yoʻnalishlarning simvolik belgilanishi

Kristallarning anizotropiyasi har xil tekisliklar (yoqlari) va yoʻnalishlar (masalan, qirralari) ni ajratishni va aniqlashni talab qiladi. Buning uchun maxsus koordinatalar sistemasi tanlanadi. Bunda koordinata boshi kristall panjara tuguni bilan ustma-ust tushib, ularning oʻqlari simmetriya oʻqlariga parallel qilib, yoki panjara qirralari boʻylab oʻtkaziladi. Bunday koordinatalar sistemasida koordinatalar atomlar orasidagi masofalar birligida oʻlchanadi. Tekislik vaziyati uning uchta oʻqlar bilan kesishgan koordinatalar karraligi bilan aniqlanadi.

Lekin tekislikni belgilashda bu raqamlar bilan emas, balki Miller indekslari bilan belgilash qabul qilingan. Miller indekslari quyidagicha kiritiladi: kristallografik tekislik koordinatalar oʻqlarida m, n, p kesmalarni hosil qilib, ularni kesib oʻtsin. U holda bu tekislikning bu kesmalardagi tenglamasi quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$\frac{x}{m} + \frac{y}{n} + \frac{z}{p} = 1$$

Umumiy maxraj berib, tekislikning tenglamasini umumiy koʻrinishda yozamiz:

$$hx + ky + lz = D$$

Bu yerda x, y, z lar oldidagi koeffitsiyentlar miller indekslari (h, k, l) deyiladi va [hkl] shaklda ifodalanadi.

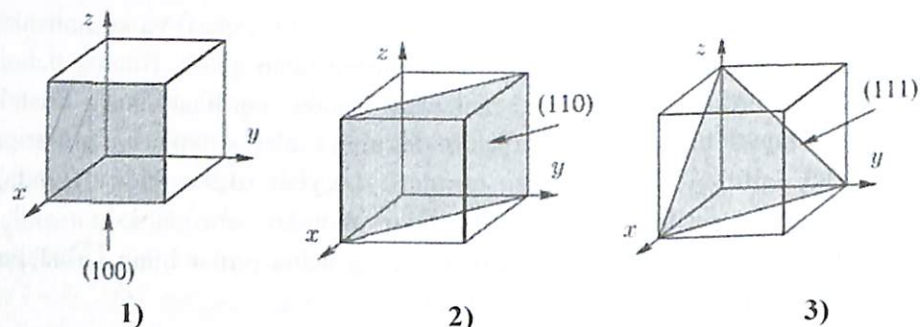
Misol. Tekislikning koordinata oʻqlarini 4, 2, 1 kesmalarda kesib oʻtsin. U holda tekislik tenglamasi bu kesmalarda quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$\frac{x}{4} + \frac{y}{2} + \frac{z}{1} = 1$$

Umumiy maxrajga keltirib, uni  $x + 2y + 4z = 4$  ko'rinishida yozsak, bu tekislik uchun Miller indeksleri  $h = 1, k = 2, l = 4$  bo'ladi. Bu tekislik Miller indeksleri orqali [124] ko'rinishda yoziladi.

Bir-biriga parallel bo'lgan tekisliklar, ularning koordinata o'qlaridagi kesmalar 1,2,4 va 2,4,8 hamda 3,6,12 va h.k. bo'lsa, ular bitta (1, 2, 4) – Miller indeksleri bilan belgilanadi.

Shuningdek, ekvivalent tekisliklarni kub panjara misolida ko'rishimiz mumkin. Masalan. Kub panjarada (100), (010), (001) yoqlar ekvivalent hisoblanadi. 99-rasmda kub panjara uchun asosiy (100), (110) va (111) tekisliklar ko'rsatilgan.



99-rasm

Shunday qilib, Miller indeksleri bitta yagona tekislikni ifodalamasdan, unga parallel bo'lgan tekisliklar hamda ekvivalent tekisliklarni ifodalaydi va bu tekislik yo'nalishida kristallografik va fizik kattaliklar bir xilda bo'ladi.

Agar kristall jismning kristall panjara turi – strukturasi ma'lum bo'lsa, uning zichligi ( $\rho$ ) va atom massasi ( $\mu$ )ni bilgan holda kristall panjara doimiysini aniqlash mumkin. Ikkita qo'shni atom (ion) lar orasidagi masofani panjara doimiysi deb, eng sodda hol – kub panjara doimiysini aniqlaymiz.

Avval, bitta kristall panjaraning elementar yacheykasiga nechta atom to'g'ri kelishini aniqlaymiz. Unda atomlar soni  $N$  ga teng bo'lsa, bitta atom egallagan hajm  $\frac{a^3}{N}$  ga teng bo'ladi. 1 mol moddaning egallagan hajmi

$V_\mu = \frac{a^3}{N} N_A$  ga teng. Bu yerda  $N_A$  – Avogadro soni,  $a^3$  – kub panjara hajmi.

Boshqa tomondan,  $V_\mu = \frac{\mu}{\rho}$  ga teng. Bunda  $\rho$  – kristall jism zichligi. Oxirgi ikkita tenglamalarni tenglashtirib, undan panjara doimiysi  $a$  ni aniqlaymiz:

$$a^3 \frac{N_A}{N} = \frac{\mu}{\rho}$$

va bundan

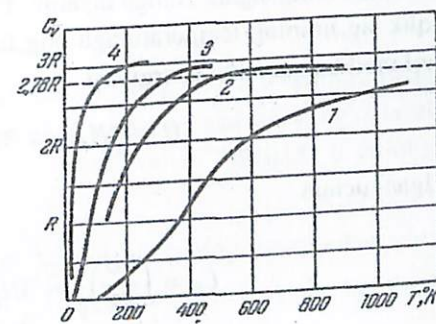
$$a = \sqrt[3]{\frac{N\mu}{\rho N_A}}$$

### §90. Qattiq jismlarning issiqlik xossalari

Qattiq jism zarrachalari suyuqlik va gaz zarrachalaridan farqli harakat qiladi. Qattiq jismda zarrachalar o'zaro itarishish va tortishish kuchlari ta'sirida mustahkam bog'lanishga ega bo'lib, ular faqat o'zlarining muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qila oladi.

Davriy tebranma harakat qiluvchi zarrachalar yoki zarrachalar sistemasiga ossilyatorlar deyiladi. Tashqaridan issiqlik berilsa, uning tebranma harakati kuchayadi, tebranma harakat energiyasi ortadi. Agar tebranish garmonik bo'lsa, ossilyatorning tebranma harakat energiyasi uning potensial energiyasiga teng bo'ladi.

Gazlarning kinetik nazariyasida ko'rilgan "Teng taqsimot qonuni" ga asosan har bir erkinlik darajasiga (har bir o'q bo'yicha)  $\frac{1}{2}kT$  energiya to'g'ri keladi. U holda har bir atom 3 ta erkinlik darajasiga ega bo'lsa, uning to'la energiyasi  $3 \times 2 \times \frac{1}{2}kT = 3kT$  ga teng bo'ladi.



100 - rasm

Moddaning 1 molida  $N_A$  ta zarracha bo'lgani uchun jismning molyar energiyasi  $U = N_A \cdot 3kT$  ga teng bo'ladi. U holda uning molyar issiqlik sig'imi  $C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3R \approx 6 \text{ kal/K} \cdot \text{mol}$  ga teng bo'ladi. Demak, issiqlik muvozanati sharoitida qattiq jismning molyar (atomar) issiqlik sig'imi modda turiga va temperaturasiga bog'liq bo'lmay,  $C_V = 3R$  ga teng ekan. Bu xulosa Dyulong - Pti qonuni deyiladi.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, normal sharoitda ko'pincha metallarning atomar (molyar) issiqlik sig'imi  $6 \text{ kal/K} \cdot \text{mol}$  ga yaqin bo'lib, temperaturaga bog'liq emas (100-rasm). Lekin olmos, berilliy, bor uchun nu qonun o'rinli emas, olmos (1), kremniy (2), aluminiy (3), qo'rg'oshin (4) kabi metallar uchun nisbatan yuqori temperaturalarda Dulong - Pti qonuni bajariladi (100-rasmga qarang).

Temperatura pasayishi bilan qattiq jismlarning issiqlik sig'imi keskin kamaya boradi va temperatura nolga intilganda uning issiqlik sig'imi ham nolga intiladi. Past temperaturalarda qattiq jismning issiqlik sig'imi kvant nazariyasi orqali tushuntiriladi. Unga asosan ossilyator deb qaraladigan atomning tebranma harakat kinetik energiyasi butun sonlardan  $h\nu$  ga karrali deb qaraladi va  $W = nh\nu$  ga teng deb hisoblanadi. Bu yerda  $n$  - butun son,  $h$  - Plank doimiysi,  $\nu$  - atomning tebanish chastotasi.

Ossilyatorning tebranma harakat energiyasining kvant nazariyasiga asosan taqsimoti Plank tomonidan

$$w = \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}$$

ko'rinishda aniqlangan. Bunga tayanib, Eynshteyn (1907-yilda) qattiq jism issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqlik formulasini keltirib chiqardi. 1 mol moddaning ichki energiyasi

$$U = 3N_A w = 3N_A \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}$$

bo'lgani uchun

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3N_0 k \frac{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 \frac{h\nu}{e^{kT}}}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)^2}$$

Bu formula qattiq jismning atomar (molyar) issiqlik sig'imi uchun Eynshteyn formulasidir.

Katta temperaturalarda, ya'ni  $kT \gg h\nu$  da  $C_V = 3R$  ga,  $T = 0$  da esa  $C_V = 0$  bo'ladi, ya'ni tajriba natijalari hamda issiqlik sig'imining klassik nazariyasini tushuntirib beradi. Lekin bu formula tajribada olingan issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligiga mos kelmaydi. Bunday past temperaturalar uchun issiqlik sig'imining tepmeraturaga bog'liqligi A. Tarasov va boshqa olimlar tomonidan tadqiq qilingan.

Past temperaturalarda ossilyatorlarning energiyasi Plank nazariyasiga asosan  $T^4$  ga bog'liq deb faraz qilingan. U holda past temperaturalarda qattiq jismning molyar ichki energiyasi  $U = N_A w = aT^4$  ga teng deb yozishimiz mumkin. Bu yerda  $a$  - o'zgarmas koeffitsiyent. Bu ifodadan qattiq jismning molyar issiqlik sig'imi uchun

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 4aT^3 \sim T^3$$

bog'lanish kelib chiqadi. Bu bog'lanishda, past temperaturalarda qattiq jismning molyar issiqlik sig'imi temperaturaning kubiga bog'liq ekan, ya'ni Debayning issiqlik sig'imi uchun kub qonuni kelib chiqadi. Bu qonuniyat faqat chegaralangan temperaturalar intervali uchun o'rinli bo'ladi.

Amaliyotda jismlarning issiqlik sig'imi kalorimetrdan issiqlik energiyasining saqlanish qonuniga asosan issiqlik balansi tenglamasi bo'yicha aniqlanadi.

### §91. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi

Hammaga ma'lumki, qattiq jismlar qizdirilganda o'z hajmini oshiradi, ya'ni issiqlikdan kengayadi. Bu degani, qattiq jismlar qizdirilganda ularni tashkil qilgan zarrachalar orasidagi masofa ortadi. Natijada u issiqlikdan kengayadi.

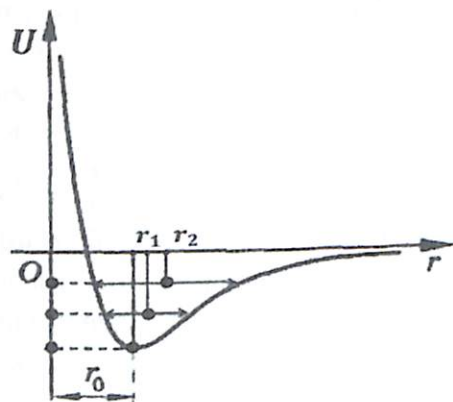
Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi uning issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsiyenti  $\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}$  va hajmiy kengayish koeffitsienti  $\beta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}$  bilan xarakterlanadi. Demak, qattiq jismning issiqlikdan chiziqli

kengayish koeffitsienti son jihatdan – bu uning temperaturasi  $1^{\circ}\text{C}$  ga oʻzgaranda uning chiziqli oʻlchamining nisbiy oʻzgarishiga aytiladi. Bu yerda  $l_0$  va  $V_0$  – jismning boshlangʻich chiziqli va hajmiy oʻlchamlari,  $\Delta l$  va  $\Delta V$  – ularning oʻzgarishlaridir.

$\beta$  va  $\alpha$  orasidagi bogʻlanish kub misolida keltirib chiqariladi. Boshlangʻich hajmi  $V_0 = l_0^3$  va kengaygandagi hajmi  $V = l^3$  desak, u holda  $V = V_0(1 + \beta t) = l_0^3(1 + \alpha t)^3$ .  $\alpha$  ning qattiq jismlar uchun  $10^{-4} - 10^{-6} \text{K}^{-1}$  tartibida ekanligini hisobga olsak va  $\alpha^2 \approx \alpha^3 \approx 0$  desak,  $\beta \approx 3\alpha$  ga teng boʻladi.

Endi qattiq jismlar issiqlikdan kengayishining fizik sababini koʻraylik. Buning uchun ular orasidagi oʻzaro taʼsir kuchlari asosida qattiq jism zarrachalarining potensial energiyasi va uning zarrachalari orasidagi masofaga bogʻlanish grafigini koʻraylik (101-rasm).

Zarralar (atomlar) ning potensial energiyasi:



101-rasm

$$U = - \int f dr = - \int \left( \frac{c_1}{r^m} - \frac{c_2}{r^n} \right) dr$$

Bu yerda  $c_1$  va  $c_2$  – doimiy koeffitsiyentlar, atomlar orasidagi oʻzaro tortish kuchlari  $r^{-n}$  ga, oʻzaro itarishish kuchlari  $r^{-m}$  ga proporsional hamda  $m > n$ . U holda natijaviy kuch potensial energiyasining masofaga bogʻliqligi 101-rasmda koʻrsatilgandek boʻladi.

$T = 0 \text{K}$  da atomlar orasidagi masofa  $r = r_0$  da teng kinetik energiyasi ham nolga teng boʻladi. Temperatura ortishi bilan atomlarning tebranma harakati kuchayadi, uning kinetik energiyasi ortadi, tebranish amplitudasi ham ortadi. Qattiq jismning temperaturasi ortsa, yaʼni  $T_i$  ga teng boʻlsa, uning kinetik energiyasi  $\frac{1}{3}kT_i$  ga teng boʻladi. Uning tebranishi 101-rasmda koʻrsatilgandek boʻladi va uning muvozanat vaziyati birinchi atomga nisbatan  $r_1 > r_0$  masofada boʻladi. Temperaturani yanada oshirsak, uning kinetik energiyasi ortadi, tebranish amplitudasi ortadi va atomlar

muvozanat vaziyatlari orasidagi masofasi  $r_2 > r_1$  ga teng boʻladi. Shunday qilib, qattiq jismlarning temperaturasi ortishi bilan ularning oʻlchamlari ortadi, yaʼni issiqlikdan kengayadi. Kristall jismlar anizotrop boʻlgani uchun ularning issiqlikdan kengayish koeffitsiyentlari yoʻnalishga bogʻliq boʻladi, yaʼni har xil yoʻnalishda har xil kengayish roʻy beradi.

Har xil jismlar uchun issiqlikdan kengayish koeffitsienti har xil, chunki ular zarrachalarining xossalari hamda strukturalari har xil. Masalan, kvarts uchun  $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  – eng kichik qiymatga ega boʻlsa, natriy uchun  $\alpha = 80 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  – eng katta qiymatga ega.

Koʻpchilik metallarning issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsienti  $\alpha$  ni uni atomar issiqlik sigʻimiga nisbatan har bir metall uchun oʻzgarish qiymatiga ega, yaʼni temperaturaga bogʻliq emas. Bu esa Gryunzen qonuni deb yuritiladi.

Bir qancha moddalar issiqlikdan kengaymasdan, balki torayadi, yaʼni anomaliyaga ega. Bularga vismut, choʻyan, muz va boshqalar kiradi. Bunga sabab, ularning temperaturasi ortishi bilan ularning strukturasi oʻzgarishi deb hisoblanadi.

## §92. Qattiq jismlarning erishi va sublimatsiyasi

Qattiq jismlarning suyuq holatiga, yaʼni suyuqlik fazasiga oʻtish jarayoniga erish deyiladi. Avvalgi mavzularda taʼkidlaganimizdek, amorf jismlar suyuq holatiga asta-sekin oʻta boradi va ularning aniq erish temperaturasi mavjud emas. Masalan, smolani eritish jarayoni. Unda uning qizdirilayotgan yaqin qismi suyuqlikka aylansa ham, qolgan qismi qattiq holatda boʻlib, u asta – sekin suyuqlikka aylanadi.

Metallarda (kristall jismlarda) esa erish jarayoni uning barcha qismi boʻyicha deyarli bir xil temperaturada roʻy beradi va uning bu jarayon roʻy beradigan temperaturasi erish temperaturasi deyiladi. Agar qattiq jismning (oksidlanmaydigan metallarning) temperaturasini nazorat qilib qizdirsak, uning temperaturasini vaqtga bogʻliqlik grafigi 102-rasmda koʻrsatilgandek koʻrinishda boʻladi. Qattiq jismning parchalanishi, yaʼni uning suyuq holatga oʻtkazish uchun sarf qilingan issiqlik miqdori erish issiqligi deyiladi va u 102-rasmdan  $\Delta Q_e = P\Delta t = P(t_2 - t_1)$  ga teng (BC oraligʻida). Bu yerda  $P$  – qattiq jismni qizdirayotgan isitkichning quvvati.

Qattiq jismlarning issiqlikka bardoshliligi uning erish temperaturasi  $T_e$  va solishtirma erish issiqligi  $\lambda$  bilan tavsiflanadi. 1 kg jismni erish temperaturasida to'la suyuq holatga o'tkazilishiga sarf bo'lgan issiqlik miqdori shu jismning solishtirma erish issiqligi deyiladi:

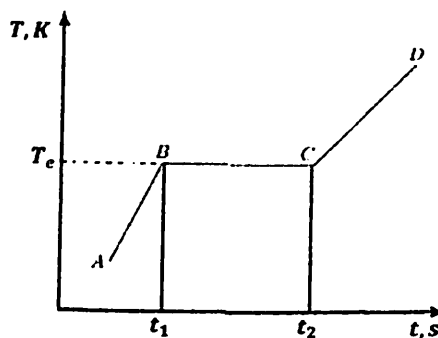
$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad \text{yoki} \quad \lambda = \frac{Q}{m}$$

Birliklari SI da  $[\lambda]_{SI} = 1 \frac{J}{kg}$ , SGS da  $[\lambda]_{SGS} = 1 \frac{Erg}{gr}$  va texnikada  $[\lambda] = 1 \frac{Kal}{gr}$ . Jismlarning erish temperaturasi har xil jismlar uchun har xil. Chunki har xil jismlarning atomlari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari hamda tuzilish strukturasi ham har xil.

Shuningdek, jismlarning erish temperaturasi tashqi bosimga bog'liq. Ko'pchilik jismlar uchun bosim ortishi bilan erish temperaturasi ortadi va u matematik jihatdan Klapeyron-Klauzius formulasi orqali tushuntiriladi. Fizik nuqtayi nazardan, tashqi bosim qattiq jism atomlari orasidagi masofani kamaytiradi, orasidagi o'zaro ta'sir energiyasini orttiradi. Natijada jismning erishi, ya'ni kristall panjarasini parchalash uchun kattaroq issiqlik miqdori beriladi, ya'ni erish kattaroq temperaturada ro'y beradi.

Qattiq jismlarni qizdirganda, u suyuq holatga o'tmasdan to'g'ridan - to'g'ri bug' holatga - bug' fazasiga o'tish jarayoniga sublimatsiya deyiladi. Bunday xossaga ega moddalarga yod, ftor, xlor, naftalin kabi moddalar kiradi. Ular qizdirilganda suyuq holatga o'tmasdan bug'lanib ketadi, ya'ni to'g'ridan - to'g'ri bug' (gaz) fazasiga o'tadi. Bunda kinetik energiyasi atomlarning tutinish kuchlarini yengishga yetarli bo'lgan qattiq jism yuzasida bug'lanib, uning ustida bug' hosil qiladi.

Sublimatsiya qonuniyatlari suyuqliklarning bug'lanish qonuniyatlariga o'xshash. Lekin, sublimatsiya solishtirma issiqligi qattiq



102 - rasm

jismning solishtirma erish issiqligi bilan solishtirma bug'lanish issiqliklarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Qattiq jismlar, xususan, metallarning bug'langan zarrachalari uning sirtida bug' hosil qiladi. Ma'lum temperaturada va bosimda, bug' va qattiq jism muvozanatda bo'lishi mumkin. Bunday bug'lar to'yingan bug' deyiladi. Qattiq jism sirtidan uning bug'larining bosimi temperaturaga kuchli bog'liq va temperatura pasayishi bilan keskin kamayadi.

Qattiq jismning, xususan, metallarning erish issiqligi va erish temperaturasi metallarning strukturasi bog'liqligi prof. K.A. Tursunmetov tomonidan tadqiq qilingan. Har bir turdagi kristall panjarali metallarning molyar erish issiqligining erish temperaturasiga bog'liqligi chiziqli ekanligi ko'rsatildi va ular emperik formulalar - bog'lanishlar aniqlandi:

Hajmiy markazlashgan kub panjarali metallar uchun (Ta, W, Mo, Cr, V):  $\lambda = (-0,365 + 2,27 \cdot 10^{-3}T) Kal/mol$ , yoqlari markazlashgan kub panjarali metallar uchun (Ag, Au, Ir, Pt, Pd, Ni, Co va b.)  $\lambda = (-0,015 + 2,40 \cdot 10^{-3}T) Kal/mol$ ; polimorf o'zgarish qilmaydigan geksagonal zich joylashgan panjarali metallar (Se, Te, Zn, Am, Rh, Ru, Re va b.) uchun  $\lambda = (-0,091 + 2,23 \cdot 10^{-3}T) Kal/mol$ ; polimorf o'zgarish sodir bo'ladigan geksagonal zich joylashgan metallar (Hf, Zr, Ti, Tb, Pz, Cd va b.) uchun  $\lambda = (-1,090 + 2,47 \cdot 10^{-3}T) Kal/mol$  qonuniyatlar aniqlandi.

Demak, metallarning molyar erish issiqligining uning erish temperaturasiga bog'liqlik grafigi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgani uchun grafikning tangensi, ya'ni erish issiqligining erish temperaturasiga nisbati erish entropiyasini beradi.

U holdan markaziy zichlashgan kub panjarali metallar uchun erish entropiyasi  $S_m = \frac{\lambda}{T} = (2,27 \pm 0,02) Kal/mol \cdot K$ , yoqlari markazlashgan metallar uchun  $S_y = \frac{\lambda}{T} = (2,32 \pm 0,02) Kal/mol \cdot K$ , polimorf o'zgarish qilmaydigan geksagonal zichlashgan panjarali metallar uchun  $S_g = \frac{\lambda}{T} = (2,31 \pm 0,02) Kal/mol \cdot K$ , polimorf o'zgarish qiladigan geksagonal panjarali metallar (Hf, Zr, Ti va b.) uchun  $S_{g.p.} = \frac{\lambda}{T} = (1,90 \pm 0,02) Kal/mol \cdot K$  ekanligi prof. K.A. Tursunmetov tomonidan

aniqlangan. Natijada, har bir tur panjarali metallar uchun erish issiqligining erish temperaturasi nisbati – erish entropiyasi doimiylik qonuni kashf qilingan.

Metallarning baʼzi turlari ular qizdirilganda, ular oʻzlarining panjaralarini oʻzgartiradi. Masalan, geksagonal panjarali metallar (Hf, Zr, Ti, Th, La va b.) qizdirilganda oʻzining panjarasini hajmiy markazlashgan kub panjaraga oʻzgartiradi va soʻngra eriydi. Temir esa har xil sharoitda toʻrt xil fazada boʻlib, ularning modifikatsiyalari  $\alpha$  -,  $\beta$  -,  $\gamma$  - va  $\delta$  - Fe deb yuritiladi. Metallarning bunday panjaralarni oʻzgartirish jarayonlari polimorf aylanishlar deb ataladi. Shuningdek, Ca, Sr, La, Th, Ce kabi metallar qizdirilganda oʻzining yoqlari markazlashgan kub panjarasini hajmiy markazlashgan panjaraga oʻzgartiradi, yaʼni bu metallarda ham polimorf oʻzgarishlar roʻy beradi.

Shu jumladan, bir metallning boshqa metall bilan aralashmasi, yaʼni ularning qotishmalari ularning fizik xossalari keskin oʻzgartirib yuboradi. Lekin, oson eriydigan metall atomlari qiyin eriydigan metallarga kiritilganda, qotishmalar erish temperaturasi koʻpincha kamayib ketadi.

Ikki qiyin eriydigan metallar qotishmasidan oʻta qiyin eriydigan qotishmalar kashf qilingan va ularda koʻpincha intermetall bogʻlanishlar hosil boʻladi, deb faraz qilinadi. Ayniqsa, uglerodning metallarga kiritilishi ularning karbidlarini hosil qilib, juda qiyin eriydigan mustahkam materiallar hosil qiladi. Masalan, kremniyga uglerodning kiritilishi karbid kremniyini hosil qiladi va uning erish temperaturasi keskin orttirib yuboradi. Masalan: Si erish temperaturasi 1690 K boʻlsa, uning karbidi – SiC ning erish temperaturasi 3000 K dan yuqoridir.

### §93. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy oʻtishlar

Bir-biriga tegib turuvchi va fizik xususiyatlari bilan farq qiluvchi moddaning qismlariga faza deyiladi.

Birinchi tur fazaviy oʻtishlarga moddalarning bir agregat holatdan ikkinchi agregat holatiga oʻtishi misol boʻla oladi. Masalan, suvning bugʻ holatiga oʻtishi, muzning erib suvga aylanishi, metallarning erishi va aksincha. Bu turdagi fazaviy oʻtishlarda energiya yutiladi yoki ajraladi.

Masalan: muz erib suvga aylanganda energiya yutadi va aksincha suv muzga aylanganda energiya ajralib chiqadi.

Fazaviy oʻtish butun hajmda birdaniga roʻy bermasdan, avval fazaning nuqtaviy markazlari paydo boʻlib, soʻngra butun hajmni egallaydi. Masalan, erigan metallar yoki muzning qotish jarayonida ularda kristallanish markazlari paydo boʻlib, soʻngra butun hajm boʻyicha kristallanish roʻy beradi.

Avvalgi mavzuda aytilganidek, kristallarning erish jarayonida har xil temperaturalarda har xil tur panjaralarida, yaʼni modifikatsiyalarda boʻlishi mumkin. Masalan, temir  $\alpha$  -,  $\beta$  -,  $\gamma$  - va  $\delta$  - fazalarda mavjud boʻladi, Hf, Zr, Ti – iiki xil  $\alpha$  - va  $\beta$  - fazalarda boʻladi.

Ikkinchi tur fazaviy oʻtishlarda issiqlik yutilmaydi va ajralmaydi. Bu holda fazaviy oʻtish butun hajm boʻyicha fazaviy oʻzgarish bir vaqtda roʻy beradi. Masalan, ferromagnit (temir)ni qizdira boshlasak, biror temperaturaga qizdirganimizda, u paramagnitga aylanib qoladi. Bu qattiq jism ichida panjara zarralarining oʻzaro qayta joylashishi natijasida roʻy beradi. Ikkinchi tur fazaviy oʻtishlar roʻy beradigan temperatura Kyuri temperaturasi deb ataladi.

Ikkinchi tur fazaviy oʻtishga metallarning absolyut nol temperatura yaqinida ularning qarshiliklarining keskin kamayib nolga intilishi misol boʻladi. Shu jumladan temperatura ortishi bilan, Kyuri temperaturasidan yuqorida ularning dielektrik singdiruvchanligi keskin kamayadi.

Birinchi tur fazaviy oʻtishlarda qotish nuqtasiga (temperaturasi yoki bosimi) yaqinlashgan sari yangi fazaga olib keluvchi fluktuatsiyalar soni ortib boradi va ular yangi fazaning markazlari boʻlib, ular butun hajmni egallaydi. Natijada birinchi tur fazaviy oʻtish roʻy beradi.

Ikkinchi tur fazaviy oʻtishda yangi fazalar birdaniga butun hajm boʻyicha roʻy beradi. Ikkinchi tur fazaviy oʻtishlarning fizik xususiyatlari turli moddalar uchun turlicha boʻlgani uchun ularning oʻtish nuqtasi atrofida boʻladigan jarayonlar toʻla va batafsil oʻrganilmagan.

### Bob yuzasidan nazorat savollar

1. Qattiq jism zarralari qanday harakat qiladi?
2. Simmetriya va simmetriya elementlari nima?
3. Kristall panjara nima?

4. Mono va polikristall nima?
5. Anizotropiya nima?
6. Qanday panjaralarga sodda-kub, hajmiy markazlashgan va yoqlari markazlashgan kub panjaralar deyiladi?
7. Issiqlik sig'iminin temperaturaga bog'liqligi qanday tushuntiriladi?
8. Erish va sublimatsiya nima?
9. Erish temperaturasi tashqi bosimga qanday bog'langan?
10. I va II - tur fazaviy o'tishlar bir-biridan nima bilan farq qiladi?
11. Amorf va kristall jismlar.
12. Atomlar orasidagi ta'sir kuchlari va atomlarni qattiq jismdagi potentsial energiyasining grafiklari.
13. Bragg panjarasi.
14. Kristaldagi tekisliklarning simvollari.
15. Qattiq holatga o'tish.
16. Holat diagrammasi. Uchlanma nuqta.
17. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o'tishlar.
18. Erish va eritmada kristallanish.
19. Erish temperaturasini aniqlash.
20. Kristall panjara energiyasi.
21. Nima uchun amorf jismlar aniq erish temperaturasiga ega emas?
22. Qotishmalarning erishi.
23. Jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsienti deb nimaga aytiladi?
24. Nima uchun jismlar issiqlikdan kengayadi?
25. Molekulalar orasidagi kuchlar temperatura o'zgarishi bilan qanday o'zgaradi?
26. Nima uchun har xil jismlar uchun issiqlikdan kengayish koeffitsienti har xil?
27. Chiziqli kengayish koeffitsienti bilan hajmiy kengayish koeffitsienti orasidagi bog'lanish.
28. Nima uchun mis, cho'yan va ba'zi bir jismlar anomal xossaga ega (ya'ni ana'anaviy) qonuniyatga bo'ysunmaydi?

## MOLEKULAR FIZIKADAN ORALIQ NAZORAT SAVOLLARI

1. Molekulyar fizika fanining maqsadi va vazifalari.
2. Molekulyar fizika fani qaysi fanlar bilan bog'liq?
3. Modda miqdori deb nimaga aytiladi?
4. Molekulyar fizikada qanday usullardan foydalaniladi?
5. Molekulalararo ta'sir kuchlari va ularning tabiatini izohlang.
6. Molekulyar fizikada modda modeli sifatida nima olinadi?
7. Makroskopik va mikroskopik sistemalar deb nimaga aytiladi?
8. Makroskopik va mikroskopik parametrlar haqida gapiring.
9. Ergodik gipoteza deb nimaga aytiladi?
10. Bosim deb nimaga aytiladi?
11. Ideal gazning bosimi nimalarga bog'liq?
12. 1 fiz. atm. deb qanday bosimga aytiladi?
13. Bosim qanday asboblardan yordamida o'lchanadi?
14. Termometrik modda va termometrik kattalik nima?
15. Turli xil empirik shkalalar o'rtasida qanday bog'lanishlar bor?
16. Optik pirometriya usuli bilan temperaturani aniqlashni tushuntiring.
17. Ideal gazning bosimi uning temperaturasiga qanday bog'liq?
18. Ideal gazning bosimi uning temperaturasidan tashqari yana nimalarga bog'liq?
19. Gazlar kinetik nazariyasi asoslarining xulosalari nimalardan iborat?
20. Ideal gazning holat tenglamasini yozing va tushuntiring.
21. Boyle-Marott qonuniga ta'rif bering.
22. Izoterma deb nimaga aytiladi?
23. Gey-Lyussak qonunini ta'riflang. Izobara chizig'ini chizib ko'rsating.
24. Charl qonuni qanday bog'lanishni ifodalaydi?
25. Dalton qonunini tariflang.
26. Avogadro qonunining mohiyatini tushuntiring.
27. Taqsimot funksiyasi deb nimaga aytiladi?
28. Taqsimot funksiyasining oshkor ko'rinishini yozing.

29. Gaz molekullari taqsimot funksiyasini nisbiy tezliklarda ifodalang.
30. Eng ehtimolli, o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik tezliklar nimalarga bog'liq?
31. Shtern tajribasini izohlang.
32. Barometrik formulani keltirib chiqaring.
33. Boltsman taqsimoti nimani ko'rsatadi?
34. Perren tajribasini tushuntiring.
35. Maksvell va Boltsman taqsimotlari bir-biriga zidmi?
36. Gaz molekullarining tezliklar bo'yicha va konsentrasyon taqsimotining ahamiyati haqida gapiring.
37. Asosiy termodinamik tushunchalar haqida gapiring.
38. Termodinamikada ish qanday aniqlanadi?
39. Termodinamik sistemaning ichki energiyasi nimalarga bog'liq?
40. Termodinamika I-qonunini ta'riflang.
41. Moddalarning issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
42. Solishtirma, molyar issiqlik sig'imi va ularning birliklari.
43. Izotermik jarayonda bajarilgan ish qanday aniqlanadi?
44. Adiabatik jarayonda bajarilgan ish nimaga teng?
45. Politropik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi?
46. Qanday jarayonlarga aylanma-siklik jarayonlar deyiladi?
47. Karno sikli qanday jarayonlardan iborat?
48. Ishchi jism deb nimaga aytiladi?
49. Karno siklining FIK nimalarga bog'liq?
50. Karnoning birinchi teoremasini ta'riflang.
51. Karnoning ikkinchi teoremasida nima haqida so'z boradi?
52. Klauzius tengsizligini yozing va tushuntiring.
53. Entropiya deganda siz nimani tushunasiz?
54. Temperaturaning mutlaq shkalasini tushuntiring.
55. Mutlaq shkalani termodinamik nuqtayi nazardan izohlang.
56. Mutlaq shkalada manfiy temperatura nimani anglatadi?
57. Nernst teoremasini ta'riflang.
58. Molekullararo ta'sir kuchlari va ularning paydo bo'lish tabiatini tushuntiring.
59. Van-der-Vaals tuzatmalarining fizik mohiyatini izohlang.

60. Van-der-Vaals izotermalari ideal gaz izotermalaridan qanday farq qiladi?
61. Kritik holat deb qanday holatga aytiladi?
62. Real gazlarning ichki energiyalari gazning qanday parametrlariga bog'liq?
63. Real gazlar holatini aniqlovchi boshqa qanday tenglamalarni bilasiz?
64. Joul-Tomson effektining mohiyatini tushuntiring.
65. Invers temperatura nimani anglatadi?
66. Gazlarni suyultirish uchun qanday ish tutish kerak?
67. Fazaviy o'tishlar deb nimaga aytiladi? Fazaviy o'tishlarga misollar keltiring.
68. Fazaviy o'tish issiqligi deganda siz nimani tushunasiz?
69. Kleypeyron-Klauzius tenglamasini yozing va tushuntiring.
70. Suyuqliklarning asosiy xossalari to'xtalig.
71. Suyuqliklarning issiqlik sig'imi, suyuqliklarning issiqlikdan kengayishi, suyuqliklarning izotermik siqiluvchanligi to'g'risida ma'lumot bering.
72. Sirt taranglik kuchining paydo bo'lishini tushuntiring.
73. Sirt taranglik koeffitsienti nima va qanday birlikda o'lchanadi?
74. Laplas formulasining ma'nosini tushuntiring.
75. Kapillyar hodisalar deb nimaga aytiladi?
76. Suyuqliklarning bug'lanishi qanday faktorlarga bog'liq?
77. Suyuqliklarning qaynashi deb nimaga aytiladi? Sovuq holda suyuqlikni qaynatish mumkinmi?
78. Suyuq eritmalar deb nimaga aytiladi?
79. Raul qonuniga ta'rif bering.
80. Genri qonunini tushuntiring.
81. Osmos hodisasi deb nimaga aytiladi?
82. Osmotik bosim qachon paydo bo'ladi? Vant-Goff qonunini tushuntiring.
83. Suyuq eritmalarining holat diagrammalari deganda siz nimani tushunasiz?
84. Suyuq eritmalarining qaynash jarayonini izohlang.
85. Kristallar qanday tuzilgan?

86. Kristall panjara turlari haqida gapiring.
87. Qanday simmetriya elementlari bor?
88. Anizotropiya nima?
89. Tabiiy kristallar necha xil Brave panjaralaridan tashkil topgan?
90. Kristallarda yoʻnalishlar va tekisliklarning belgilanishini koʻrsating.
91. Polimorfizm deb nimaga aytiladi?
92. Kristall panjara tugunida turgan zarralar turiga qarab, qanday kristallar hosil boʻladi?
93. Kristallardagi nuqsonlar deganda siz nimani tushunasiz?
94. Kristallarning mexanik xossalarini izohlang.
95. Chiziqli va hajm kengayish koeffitsiyentlari deb nimaga aytiladi?
96. Elastik deformatsiya. Guk qonuni. Yung moduli.
97. Deformatsiya energiyasi.
98. Siljish deformatsiyasi.
99. Buralish deformatsiyasi.
100. Egilish deformatsiyasi.
101. Mustahkamlik chegarasi va zapasi.
102. Kristallar qachon eriydi? Erish temperaturasi nimalarga bogʻliq?
103. Dyulang-Pti qonunini tushuntiring.
104. Eynshteyn-Debay nazariyasining mohiyatini izohlang.
105. Kristallarda fazaviy oʻtishlar haqida gapiring.
106. Uchlanma nuqta deganda siz nimani tushunasiz?
107. Qattiq eritmalar deb nimaga aytiladi? Ularning xossalarini yoriting.
108. Suyuq kristallar va ularning turlari haqida siz nimalar bilasiz?
109. Geliyning xossalariga toʻxtalib.
110. Polimerlar, ularning tuzilishi, xossalarini izohlang.
111. Gaz molekullari harakatining kinematik xarakteristikallari deganda siz nimalarni tushunasiz?
112. Diffuziya deb nimaga aytiladi? Uning ahamiyati haqida nima bilasiz?
113. Gazlarda koʻchish hodisalari deganda qanday jarayonlar nazarda tutiladi?
114. Suyuqliklarda diffuziya haqida gapiring.

115. Ichki ishqalanishning suyuqliklar harakatidagi ahamiyati nimalardan iborat?

116. Issiqlik oʻtkazuvchanlik suyuqliklarda qanday amalga oshadi?

117. Qattiq jismlarda qanday koʻchish hodisalarini kuzatish mumkin?

## MOLEKULAR FIZIKA FANIDAN TEST SAVOLLARI

### 1. Molekulyar–kinetik nazariyaning asosiy g'oyalari nimalardan iborat?

- Moddalar molekula va atomlardan tuzilgan bo'lib, doimo tartibsiz issiqlik harakatida bo'ladi. Ular orasida tortishish kuchlari bo'ladi;
- Moddalar fakat molekulalardan, molekulalar esa atomlardan tuzilgan;
- Modda molekulalari orasida o'zaro tortishish kuchlari mavjud;
- Molekulalar doimo harakatda bo'ladi;

### 2. Ideal gazning real gazdan farqi nimada?

- Ideal gaz molekularining o'lchamlari e'tiborga olinmaydi;
- Ideal gaz molekulalar massasi hisobga olinmaydi;
- Ideal gaz molekularining xususiy hajmi va ular orasidagi o'zaro ta'sir hisobga olinmaydi;
- Ideal gaz molekulalarining o'zaro ta'sir kuchlari hisobga olinmaydi;

### 3. Termodinamikaning birinchi qonunini ta'riflang.

- Sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasini o'zgarishiga va sistemaning tashqi jismlar ustida ish bajarishiga sarflanadi.
- Sistema issiqlik miqdori unga atrofdagi jismlar bergan issiqlik miqdoriga teng.
- Jismlar bergan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasiga sarflanadi.
- Ichki energiyaning kamayishi sodir bo'ladigan protsesslarning energiyaning o'zgarishiga va bajarilgan ishga sarflanadi.

### 4. Tashqi potensial maydonda zarralarning taqsimlanishiga oid Boltsman qonunini ko'rsating.

- $n = n_0 e^{-\frac{mgh}{RT}}$
- $pV = const$
- $\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{n_0}{n}$
- $\frac{n}{n_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$

### 5. Real issiqlik mashinasining F.I.K ifodasi ni ko'rsating.

- $\frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$
- $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} \cdot 100\%$
- $\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$
- $\frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \cdot 100\%$

### 6. Agar ideal gazning zichligi 9 marta ortsa, bosimi 9 marta kamaysa, gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi qanday o'zgaradi?

- 9 marta ortadi.
- 9 marta kamayadi.
- 81 marta kamayadi.
- o'zgarmaydi.

### 7. Avogadro soni nimaga teng?

- $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$
- $N_A = 8.03 \cdot 10^{21} mol^{-1}$
- $N_A = 7.08 \cdot 10^{11} mol^{-1}$
- $N_A = 5.08 \cdot 10^{23} mol^{-1}$

### 8. Dalton qonuni ifodasini ko'rsating.

- $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$
- $P = nkT + n = kT + nkT$
- $P_2 = n_2 kT$
- $P = P_1 + P_2 + n \cdot kT +$

### 9. Qanday temperaturalar shkalasi mavjud?

- Termodinamik yoki absolyut temperatura shkalasi, Selsiy shkalasi, Farangeyt shkalasi.
- Absolyut yoki termometr temperatura shkalasi.
- Termometr yoki Selsiy shkalasi.
- Termodinamik yoki termometr shkalasi

10. Molyar massa nima?

- 1 mol moddaning massasi;
- Moddalarni tashkil qiluvchi zarralarning massasi;
- Lodshmidt soniga teng bo'lgan zarralar moddaning massasi;
- Modda miqdorini xarakterlovchi kattalik;

11. Sistema parametrlari nima?

- Hajm, temperatura, bosim, massa.
- Hajm, kuch, temperatura.
- Zichlik, massa
- Temperatura, massa, bosim.

12. Ideal gazning holat tenglamasini ko'rsating.

- $PV = \frac{m}{\mu} RT$
- $PV = RT \cdot \mu$
- $PVm = RT$
- $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$

13. Modda miqdorini topish formulasi qaysi javobda to'g'ri berilgan?

- Hamma javob to'g'ri
- $\nu = \frac{m}{\mu}$
- $\nu = \frac{N}{N_A}$
- $\nu = \frac{P \cdot V}{RT}$

14. Ideal gazning bosimi uchun molekulyar-kinetik nazariyaning tenglamasini toping.

- $P = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$
- $N = \frac{1}{3} nV$
- $E_k = \frac{1}{3} nm \overline{v^2}$
- $p = \frac{F}{S}$

15. Issiqlik mashinalarida ishchi jismning qanday energiyasi hisobiga ish bajaradi?

- Ichki
- Elektromagnit
- Kinetik
- Potensial

16. Ushbu tenglamalardan qaysi biri Van-der-Vaals tenglamasini ifodalaydi?

- $P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2}$
- $PV = \frac{m}{\mu} RT$
- $P = \frac{RT}{V} \left(1 + \frac{A}{V^2} + \frac{B}{V^2} + \dots\right)$
- $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$

17. F.I.K 25% bo'lgan issiqlik mashinasi sovitgichga 600 J issiqlik beradi, u qanday foydali ish bajaradi?

- 200 J,
- 300 J,
- 400 J,
- 500 J,

18. Suv qaysi temperaturadan boshlab bug'lanadi?

- 100 °C,
- 20 °C,
- 10 °C,
- 0 °C,

19. Kristall panjara necha turga bo'linadi? 1. ionli panjaraga. 2. molekulyar panjaraga. 3. atom panjaraga 4. metall panjaraga.

- 1,2,3,4,
- 1,3,
- 1,2,4,
- 1,4,

20. Solishtirma yonish issiqligi nima?

- a). 1 kg massali jismning temperaturasi 1 K ga oshirish uchun zarur boʻlgan issiqlik miqdori;
- b). 1 kg massali jismni toʻla yondirilganda ajralib chiqqan issiqlik miqdori;
- c). 1 kg massali jismning yondirish uchun zarur boʻlgan issiqlik miqdori;
- d). 1 kg jismni eritish uchun zarur boʻlgan issiqlik miqdori

21. Izotermik jarayonda gazning bajargan ishini formulasini koʻrsating.

- a).  $dA = \frac{m}{\mu} R dT$
- b).  $A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$
- c).  $A = Q$
- d).  $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$

22. Moddaning barcha xossalari oʻzida saqlab qoluvchi eng kichik zarracha ... deb ataladi:

- a). Proton
- b). Yadro
- c). Atom
- d). Molekula

23. Solishtirma issiqlik sigʻimi formulasini aniqlang.

- a).  $C = \frac{Q}{m \Delta T}$
- b).  $C = \frac{Q}{v \Delta T}$
- c).  $C = \frac{Q}{\Delta T}$
- d).  $Q = -m \cdot r$

24. Universal gaz doimiysini qiymati nechaga teng?

- a). 8,31 J/mol K
- b). 0,831 J/mol K

- c). 0,239 Kal/J
- d). 831 J/mol

25. Quyidaagi kattaliklarning ichida Boltsman doimiysini koʻrsating.

- a).  $1,03 \cdot 10^{-23} \text{ Ж} / \text{K}$
- b). 8,31 J/kmol
- c).  $6,02 \cdot 10^{-23} \text{ mol}^{-1}$
- d).  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

26. Sistemaga berilgan issiqlik miqdori ... teng?

- a). Uning ichki energiyasini oʻzgartirish va tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga
- b). Uning ichki energiyasini oʻzgartirishga
- c). Uning kengayib, tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga
- d). Ish bajarishga

27. Quyidagi keltirilgan munosabatlardan qaysi biri normal temperaturani ifodalaydi?

- a).  $T = t + 273 \text{ K}$ ,
- b).  $\alpha = \beta = \frac{1}{T} = \frac{K^{-1}}{273}$ ,
- c).  $t = 273^{\circ} \text{C}$
- d).  $T = 273 \text{ K}$

28. Temperatura nima?

- a). Moddalar ichki holatini xarakterlovchi kattalik;
- b). Moddalar molekularining oʻrtacha kinetik energiyasini tavsiflaydi;
- c). Moddalar tuzilishini xarakterlovchi kattalik;
- d). Moddalar molekulari oʻzaro taʼsirashuvini tavsiflaydi

29. Quyidagi formulalardan qaysi biri sistemaning ichki energiyasini ifodalaydi?

- a).  $\frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot RT$

$$b). \frac{1}{2}kT \cdot N_A$$

$$c). \frac{1}{2}RT$$

$$d). \frac{3}{2}kT$$

30. Molekulalarning ilgariharakati o'rtacha kinetik energiyasi formulasi aniqlang.

$$a). E = \frac{3}{2}kT$$

$$b). E = mgh$$

$$c). E = \frac{2}{3}kT$$

$$d). E = kT$$

31. Quyidagi munosabatlarining qaysi biri sirt taranglik koeffitsienti bilan kapillarlik hodisasi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi?

$$a). \sigma = \frac{E}{S}$$

$$b). P = \frac{2\sigma}{R}$$

$$c). h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$$

$$d). U = \sigma \cdot S$$

32. Quruq yog'ochning yonish issiqligi  $10^7 \text{ J/kg}$ , tabiiy gazning esa  $4 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$  Bir xil issiqlik miqdori olish uchun yog'och ( $m_1$ ) va gazning ( $m_2$ ) massalarini taqqoslang.

$$a). m_1 = 4m_2$$

$$b). m_2 = 4m_1,$$

$$c). m_1 = 2m_2,$$

$$d). m_1 = m_2$$

33. Quyidagi munosabatlarning qaysi biri yordamida nisbiy namlikni hisoblash mumkin?

$$a). B = \frac{P}{P_{to'ly}} 100\%$$

$$b). P \cdot V = \left(\frac{m}{\mu}\right)RT$$

$$c). \rho = \frac{\mu P}{RT}$$

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

34. Issiqlik miqdori qanday kattalik bilan o'lchanadi?

$$a). \text{J/kg} \cdot \text{K}$$

$$b). \text{J/kg}$$

$$c). \text{J}$$

$$d). \text{J/mol} \cdot \text{K}$$

35. Gaz o'zgarimas bosimda 10 K ga qizdirilganda, uning boshlang'ich hajmiga nisbatan 3 % ga kattalashdi. Gazning boshlang'ich temperaturasi aniqlang.

$$a). 333\text{K},$$

$$b). 300 \text{ K},$$

$$c). 290 \text{ K}$$

$$d). 320 \text{ K},$$

36. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy qoidalari qaysi javobda to'la va to'g'ri ko'rsatilgan?

a). 1) Moddalar molekulalardan tuzilgan; 2) Molekulalar xaotik xarakat qiladi; 3) Molekulalar o,,zaro ta"sirlashadi;

b). Molekulalar xaotik xarakat qiladi;

c). Molekulalar o,,zaro ta"sirlashadi;

d). Molekulalar massalari hisobga olinmaydi;

37. Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi qaysi javobda berilgan?

$$a). p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

$$b). p = \frac{M}{V} kT$$

c).  $PV = \frac{m}{\mu} RT$

d).  $p = nkT$

38. Agar moddalar temperaturasi 2-marta oshsa, bosim necha marta oshadi?

- a). 2-marta oshadi;
- b). 2-marta kamayadi;
- c). O, zgaraydi;
- d). 4-marta oshadi;

39. Molyar massa nima?

- a). 1mol moddaning massasi;
- b). Moddalarning tashkil qiluvchi zarralarning o, zaro ta' siri;
- c). Lodshmidt soniga teng zarralari bo, lgan moddaning massasi;
- d). Avogadro soniga teng bo, lgan moddaning og, irliigi;

40. Ideal gazlarda potensial energiya nimaga teng?

- a).  $E_p = 0$
- b).  $E_p = \Delta U + A$
- c).  $E_p = \frac{1}{2} kT$
- d).  $E_p = \Delta U$

41. Ichki energiya nima?

- a). Moddaning molekularining kinetik va potensial energiyalarning yig, indisi
- b). Ideal gazning molekular massasi;
- c). Gazning faqat temperaturasini xarakterlovchi kattalik
- d). Gaz molekularining erkin energiyasi

42. Modda miqdorini topish formulasi qaysi javobda to'g'ri berilgan?

- a). Hamma javob tugri
- b).  $\nu = \frac{m}{\mu}$

c).  $\nu = \frac{N}{N_A}$

d).  $\nu = \frac{p \cdot V}{RT}$

43. Jism ichki energiyasini qanday usullar bilan o'zgartirish mumkin?

- a). Jism ustida ish bajarish;
- b). Issiqlik uzatish;
- c). Issiqlik ajratib olish;
- d). Hamma javoblar to, g, ri

44. Sistemaga berilgan issiqlik miqdori...

- a). Uning ichki energiyasini o, zgartirish va tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ishning yig, indisiga teng.
- b). Uning ichki energiyasini o, zgartirishga
- c). Uning kengayib tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga
- d). Ish bajarishga

45. Izotermik jarayon uchun termodinamikaning I qonuni qanday ko'rinishda bo'ladi?

- a).  $Q_T = A$
- b).  $Q_T = \Delta U$
- c).  $Q_T = \Delta U + p\Delta V$
- d).  $Q_T = p\Delta V + A$

46. Issiqlik mashinalarining F.I.K ni topish formulasini ko'rsating.

- a).  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$
- b).  $\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$
- c).  $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$
- d).  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$

47. Ideal gaz ichki energiyani topish formulasi qaysi javobda berilgan?

- a).  $\Delta U = \frac{3m}{2\mu} RT$
- b).  $\Delta U = PV$
- c).  $\Delta U = \Delta A$
- d).  $\Delta U = Q$

48. Izobarik jarayon uchun gazning bajargan ishi formulasini ko'rsating.

- a).  $A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1)$
- b).  $\Delta A = \frac{m}{\mu} R \Delta T$
- c).  $A = 0$
- d).  $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2}$

49. Izotermik jarayon gazning bajargan ishi formulasini ko'rsating.

- a).  $dA = \frac{m}{\mu} R dT$
- b).  $A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$
- c).  $A = Q$
- d).  $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$

50. Adiyatik jarayon uchun termodinamikaning I qonuni qanday ko'rinishda bo'ladi?

- a).  $\Delta U = -\Delta A$
- b).  $PV = const$
- c).  $Q = \Delta U$
- d).  $\Delta U = -Q$

51. Karno siklining F.I.K. quyidaagi formulalardan qaysi biri bilan aniqlanadi?

- a).  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$
- b).  $\eta = \frac{Q_2}{Q_1} A$
- c).  $\eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} A$
- d).  $\eta = \frac{A}{Q_2}$

52. Klauzius tenglamasi quyidagi tenglamalardan qaysi biri?

- a).  $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$
- b).  $Q = U$
- c).  $\frac{Q}{T_1} \leq 0$
- d).  $A = Q$

53. Kvant mexanikasida elementar zarralar nechaga bo'linadi?

- a). 2
- b). 1
- c). 4
- d). 5

54. Avogadro soni nimaga teng?

- a).  $6.023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
- b).  $8.023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
- c).  $6.6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
- d).  $2.7 \cdot 10^{22} \text{ mol m}^{-3}$

55. Uzunligi  $l$  bo'lgan matematik mayatnik  $a$  tezlanish bilan harakat qilayotgan vagonning shiftiga osilgan. Uning tebranish davri formulasini ko'rsating.

- a).  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

$$b). T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}$$

$$c). T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{a^2+g^2}}}$$

$$d). T = 2\sqrt{\frac{l}{g+a}}$$

56. Ideal gazning izotermik jarayonda bajargan ishini aniqlang:

$$a). A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$b). A = \frac{RT}{1-\gamma} \left[ 1 - \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \right]$$

$$c). \delta A = C_p dT$$

$$d). \delta A = PdV$$

57. Misning zichligi  $8900 \text{ kg/m}^3$ , atom massasi 64 a.m.b. Avogadro soni  $N_A = 6.023 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$ , mis quyimasidagi atomlar orasidagi o'rtacha masofani aniqlang.

$$a). 2.3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$b). 1.8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$c). 3.6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$d). 2.3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

58.  $1 \text{ m}^3$  temirdan qancha atom bor? Zichligi  $7900 \text{ kg/m}^3$ , molyar massasi  $56 \text{ kg/kmol}$ ,  $N_A = 6.023 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$ .

$$a). 8.5 \cdot 10^{28}$$

$$b). 8.5 \cdot 10^{27}$$

$$c). 8.1 \cdot 10^{26}$$

$$d). 4.5 \cdot 10^{29}$$

59. Gaz molekularining tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasining oshkor ko'rinishini aniqlang:

$$a). f(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2$$

$$b). n = n_0 e^{-\frac{F_p}{kT}}$$

$$c). P = P_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$d). f(\vartheta) = Ae^{-a\vartheta^2}$$

60. Real gazlar deb qanday gazlarga aytiladi?

a). Molekulalari ma'lum xususiy hajm va massaga ega hamda o,zaro ta'sirlashadigan (uzoqlashganda tortishuvchi, yaqinlashganda itarishuvchi) gazlarga real gazlar deyiladi:

b). Molekulalari ma'lum hajm va massaga ega, ammo o,zaro ta'sirlashmaydigan gazlarga real gazlar deyiladi:

c) Real gaz molekulari o,zaro ta'sirlashadi ammo gaz molekulari xususiy hajmga ega emas:

d). Real gaz molekulari ham ideal gaz qonunlariga bo,ysunadi: Ana shunday gazlarga real gazlar deyiladi:

61. Quyidagi formulalardan qaysi birida moddaning kritik parametrlari to'g'ri keltirilgan?

$$a). V_k = 3b; P_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{8a}{27bR}$$

$$b). V_k = 3b; P_k = \frac{a}{27b}; T_k = \frac{8a}{27bR}$$

$$c). V_k = 3b; P_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{8}{27bR}$$

$$d). V_k = 3b; P_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{8a}{27b}$$

62. Germetik bo'lgan idishdaga gazning temperaturasi 25% da oshgan. Undagi gazning konentratsiyasi qancha foizga kamayadi?

a). o,zgarmaydi

b). 25

c). 20

d). 18

63. Idishda 0.28 gr azot bor. Idish hajmi 1 l va gaz temperaiurasi 1500°C. Bunda 30% azot malekulalari atomlarga dissotsiyalangan. Idishdagi gaz bosimini toping (kPa)

- a). 126
- b). 192
- c). 462
- d).586

64. Namligi 20% bo'lgan 1m<sup>3</sup> havo namligi 30% bo'lgan bir xil temperaturali 2m<sup>3</sup> hajmli havo bilan aralashtirildi. Aralashmaning namligini aniqlang (%)

- a). 21,5
- b). 23.3
- c). 25
- d).26.7

65. Gaz  $\frac{V}{\sqrt{T}} = const$  qonuniyat bo'yicha hajmi 2 marta o'zgarguncha qizdiriladi. Bosim qanday o'zgaradi?

- a). O, zgaraydi
- b). 2 marta ortadi
- c). 2 marta kamayadi
- d).  $\sqrt{2}$  marta ortadi

66. Diametri 40 mm medal oquvchanlik chegarasi 250 MPa bo'lgan materialdan shtampovka qilinmoqda. Bu medalni shtampovka qiluvchi minimal kuchni (kN) toping.

- a). 3.14
- b). 6.28
- c). 314
- d).628

67. Molekulalarning ilgari lanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi formulasini aniqlang.

- a).  $E = \frac{3}{2}kT$
- b).  $E = mgh$
- c).  $E = \frac{2}{3}kT$
- d).  $E = kT$

68. Bitta molekula massasi nimaga teng?

- a).  $M = m_m \cdot N_A$
- b).  $m = M/\rho$
- c).  $m = \frac{M}{N_A}$
- d).  $\mu = m \cdot V$

69. Jismlarning molekular harakati o'rtacha kinetik energiyasining o'Ichovi ... deb ataladi.

- a). Temperatura
- b). Ichki energiya
- c). Potensial energiya
- d). To, la energiya

70. Issiqlik balansi tenglamasini ko'rsating.

- a).  $Q_1 + Q_2 + \dots = Q_1 + Q_2 + \dots$
- b).  $U_1 + U_2 \dots = U$
- c).  $Q_1 = Q_2 + A + U$
- d).  $U = U_1 + U_2$

71. Havoning nisbiy namligining foiz ko'rsatkichli formulasini aniqlang.

- a).  $\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%$
- b).  $\eta = \frac{Q_{\phi}}{Q}$
- c).  $Q = m \cdot \varphi$
- d).  $\eta = \frac{P_0}{P}$

72. 6,4 g kislorod gazi qancha molekuladan tashkil topgan?

- a).  $0.2 \cdot 10^{23}$  ma
- b).  $1.2 \cdot 10^{23}$
- c).  $3.2 \cdot 10^{23}$
- d).  $5 \cdot 10^{23}$

73. Ideal gaz bosimi uchun molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini aniqlang.

- a).  $P = nkT$
- b).  $p = kT$
- c).  $p = \frac{1}{3} \rho v^2 = \frac{1}{3} mn \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$
- d).  $\overline{E_k} = 3kT$

74. Isitkich qurilmaning F.I.K. formulasini aniqlang.

- a).  $\eta = \frac{Q_f}{Q}$
- b).  $Q = Q_1 - Q_2$
- c).  $\eta = \frac{Q}{Q_f}$
- d).  $Q_2 = \eta \cdot Q_1$

75. Kimyoviy elementning asosiy xossalarini o'zida saqlab qoluvchi eng kichik zarracha ... deb ataladi.

- a). Yadro
- b). Molekula
- c). Elektron
- d). Atom

76. Atom yoki molekulaning massasini qaysi munosabat yordamida aniqlash mumkin?

- a).  $m = \rho v$
- b).  $v = \frac{m}{\mu}$

c).  $m = \frac{M}{N_A}$

d).  $n_0 = \frac{N}{V}$

77. Quyidagi munosabatlarning ichida gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini ko'rsating.

a).  $W_k = \frac{3}{2} kT$

b).  $W_k = \frac{m \overline{v^2}}{2}$

c).  $p = n_0 kT$

d).  $p = \frac{nm \overline{v^2}}{3} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$

78. Quyidagi munosabatlarning qaysi biri adiabatik jarayonni ifodalaydi?

a).  $\Delta Q = \Delta A$

b).  $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$

c).  $\Delta A = -\Delta U$

d).  $\Delta Q = \Delta U - \Delta A$

79. Quyidagi munosabatlar ichidan ideal issiqlik mashinasining F.I.K ni ko'rsating.

a).  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

b).  $\eta = \left( \frac{Q_f}{Q_{um}} \right) 100\%$

c).  $\eta = \left[ \frac{(Q_1 + Q_2)}{Q_1} \right] 100\%$

d).  $\eta = 1$

80. Qattiq jismlarni eritishda sarf etilgan issiqlik miqdori qaysi munosabat orqali hisoblanadi?

a).  $\Delta Q = \lambda \Delta m$

b).  $r = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \lambda$

c).  $\Delta Q = -\lambda \Delta m$

d).  $\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta m} + r$

81. Quruq yog'ochning yonish issiqligi  $10^7 \text{ J/kg}$ , tabiiy gazning esa  $4 \cdot 10^7 \frac{\text{Jc}}{\text{K}^2}$ . Bir xil issiqlik miqdori olish uchun zarur bo'lgan yog'och

( $m_1$ ) va gazning ( $m_2$ ) massalarini taqqoslang.

a).  $m_1 = 4m_2$

b).  $m_2 = 2m_1$

c).  $m_1 = 2m_2$

d).  $m_1 = m_2$

82. Selsiy graduslarida hisoblangan  $0^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $-273^\circ\text{C}$  temperaturalarini Kelvin graduslarida ifodalang.

a). 100 K, 200 K, 0 K,

b). 0 K, 100K, -273 K,

c). 273 K, 373, 0 K

d). 273 K, 473 K, 200 K,

83. Germetik yopiq idishda suv va suv bug'i bor. Agar idish qizdirilsa, suv bug'i molekularining konsentratsiyasi qanday o'zgaradi?

a). oshadi

b). kamayadi

c). o, zgaraydi

d). oshishi ham kamayishi ham mumkin.

84. Ideal gaz molekularining konsentratsiyasi o'zgaragan holda molekularning o'rtacha kvadratik tezligi 3 marta oshirilsa, gaz bosimi qanday o'zgaradi?

a). 9 marta oshadi,

b). 6 marta oshadi.

c). 3 marta oshadi.

d). o, zgaraydi

85. Ideal gaz qizdirilganda molekularning o'rtacha kvadratik tezligi 4 marta oshadi. Bu holda gazning absolyut temperaturasi qanday o'zgaradi?

a). 16 marta oshadi,

b). 8 marta oshadi

c). 4 marta oshadi

d). 2 marta oshadi

86. Gaz boshlang'ich 6 l hajmdan 4 l gacha siqilgan, bunda uning bosimi  $2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  gacha ortgan. Gazning boshlang'ich bosimi qanday?

$T = \text{const.}$

a).  $3 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

b).  $1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

c).  $2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

d).  $4 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

87. Ideal gazni qisishda tashqi kuchlarning bajargan ishi gaz ichki energiyasining o'zgarishiga teng bo'lsa, qanday jarayon amalga oshadi?

a). Izotermik

b). Adiabatik

c). Izobarik

d). Izoxorik

88. Normal atmosfera bosimida hajmi  $1 \text{ m}^3$  va temperaturasi 300 K bo'lgan havo massasini toping.

a). 1,2kg

b). 1,2 gr,

c). 10 gr

d). 100 gr

89. Termodinamikaning 1-inchi qonuni adiabatik jarayon uchun qanday ko'rinishda bo'ladi?

- a).  $A = -\Delta U$
- b).  $Q=U$ ,
- c).  $C) U=A$
- d).  $Q=U=A$

90. Nima uchun qaynayotgan suyuqlikning temperaturasi doimiy bo'ladi?

- a). Issiqlikning hammasi qaynashga sarf bo'ladi,
- b). Issiqlik hammasi bug, hosil bulishiga sarf bo'ladi .
- c). Qaynayotgan suyuqlik keragidan ortiq issiqlik olmaydi.
- d). Isitgich temperaturasi o,zgarmaydi.

91. Qanday temperaturaga kritik temperatura deb ataladi?

- a). Moddaning suyuq va bug,, fazalarining chegarasi yo,qoladigan temperatura.
- b). Qaynash temperaturasiga
- c). Gazlarining suyuqlikka aylanishi bo,ladigan temperatura.
- d). Erish temperaturasiga

92. Idishda gaz holdagi 1 mol kislorod bor. Idishdagi kislorod molekularining sonini aniqlang.

- a).  $6 \cdot 10^{23}$
- b).  $5 \cdot 10^{23}$
- c).  $10^{23}$
- d).  $1 \cdot 10^{23}$

93. Bug' trubinasiga temperaturasi  $480^{\circ}\text{C}$  bo'lgan bug' kirib, undan  $30^{\circ}\text{C}$  temperaturada chiqsa, trubining F.I.K qanday?

- a).  $\approx 64\%$
- b).  $\approx 60\%$
- c).  $\approx 70\%$
- d).  $\approx 45\%$

94. Temperaturasi  $20^{\circ}\text{C}$  bo'lgan kislorod molekularining o'rtacha kvadratik tezligi qancha?

- a). 450 m/s
- b). 470 m/s
- c). 480 m/s
- d). 490 m/s

95. Sigimi  $5 \text{ m}^3$  bo'lgan qozonda  $300^{\circ}\text{C}$  temperaturada o'ta isitilgan 25 kg bug' bor. Bug'ning bosimi qancha?

- a).  $13 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- b).  $10 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- c).  $11 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- d).  $12 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

96. Bosim 101 kPa va temperaturasi  $0^{\circ}\text{C}$  bo'lgan neon gazlarning atomlar orasidagi o'rtacha masofani baholang.

- a).  $2.5 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
- b).  $3.3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
- c).  $4.2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
- d).  $7 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

97. Quyidagi tenglamalarning qaysi biri Van-der-Vaalsning keltirilgan ko'rinishdagi tenglamasini ifodalaydi?

- a).  $\left(\pi + \frac{3}{v^2}\right)(3v-1) = 8\tau$
- b).  $\left(P + \frac{q}{v^2}\right)(v-b) = RT$
- c).  $\left(P + \frac{q}{TV^2}\right)(v-b) = RT$
- d).  $P(v-b) = RT \exp\left[-\frac{q}{RTv}\right]$

98. Xonadagi havo  $15^{\circ}\text{C}$  dan  $30^{\circ}\text{C}$  gacha qizdirildi. Havo ideal gaz deyilsa, uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

- 2 marta ortadi
- Taxminan 5% ga ortadi
- O, zgaraydi
- Taxminan 5% ga kamayadi

99. Ochiq idishdagi suv  $65^{\circ}\text{C}$  da qaynadi. Buning sababi nima?

- Havo bosimi normal atmosfera bosimidan kichik
- Havo bosimi normal atmosfera bosimidan katta
- Suv sekin isitilgan
- Suv tez isitilgan

100. Ideal isitkich mashinasidagi gaz isitkichdan olgan issiqlikning 70% ni sovutkichda beradi. Agar isitkichning temperaturasi  $227^{\circ}\text{C}$  bo'lsa, sovutkichning temperaturasi qanday?

- $68^{\circ}\text{C}$
- $77^{\circ}\text{C}$
- $159^{\circ}\text{C}$
- $150^{\circ}\text{K}$

## MOLEKULAR FIZIKA FANIDAN IZOHLI VA MA'LUMOTLI LUG'ATLAR\*

1. **Molekula:** "Molekula" – lotincha "kichik massa" ma'nosini anglatadi. Molekula – moddaning barcha ximiyaviy xossalari o, zida mujassam aylagan eng kichik zarrachasidir. Masalan:  $\text{H}_2\text{O}$ .

Molekulalarning o, zi atomlardan tashkil topgan. Molekulalarning atomlarga parchalanish protsessi – *dissotsiatsiya* deyiladi. Bu esa yuqori temperaturalarda bo, lishi mumkin va u dissotsiatsiya temperaturasi deyiladi.

2. **1 mol** – moddaning shunday miqdoriki, unda mavjud bo, lgan molekulalar soni 12 gr uglerod atomlar soniga teng. Va u  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  deb qabul qilingan.

3. **Molyar massa** deb, moddaning 1 molini grammlarda (yoki kilogrammlarda) ifodalangan miqdoriga aytiladi. Etalon qilib 1 mol uglerod massasi  $\mu = 12 \text{ gr}$ , ya'ni uning  $\frac{1}{12}$  qismi 1 gr – mol deb qabul qilingan. 1 mol  $\text{O}_2$  massasi - 32 gr; 1 mol  $\text{N}_2$  massasi - 28 gr ga teng, ya'ni ularning nisbiy molyar massalari shu qiymatlarga teng.

4. **Molekulyar fizika metodlari** – moddalarning xossa va xususiyatlarini molekulyar-kinetik nazariyaga asoslangan holda hamda

- 1) Statistik metod;
- 2) Termodinamik kattaliklar hamda ular orasidagi bog, lanishlar asosida;

3) Termodinamik metodlar asosida o, rganadi.

5. Molekulalarning har birini harakatini emas, balki ularning xarakteristikasi o, rtachalab (statistika), o, rtacha qiymatlarini o, rganish bilan cheklanish mumkin. Masalan:  $\bar{v}$ ,  $\bar{E}_k$  va hakoza – o, rganishning bu usuli *statistik metod*.

6. **Molekulyar-kinetik nazariya** deb, moddalarning xossalari va xususiyatlarini moddani tashkil qilgan zarrachalarining o, zaro ta' siri va harakati asosida tushuntirib beruvchi nazariyaga aytiladi.

7. **MKN asoslari:**

1) Hamma moddalar atom va molekulalardan tashkil topgan (isbotlari: ion va tunnel mikroskoplardagi atomlar tasviri, diffuziya

\*Keltirilgan ma'lumotli va lug'atlar qisqartirilgan glossariylardir, chunki unda ma'lumotni yaratish va shakllanish tarixi va amalda qo, llanishlari keltirilmagan. Lekin qator ma'lumotlar darslik matnida keltirilgan.

hodisasi).

2) Ular beto,xtov xaotik harakatda bo. Jib turadi (isboti:Diffuziya. Broun harakati).

3) Ular orasida o,zaro tortish va itarishish kuchlari mavjud (moddaning 3ta agregat holati).

8. *Ideal gaz* deb,

a) molekularini moddiy nuqta deb hisoblash mumkin bo.lgan, (ya'ni  $d \ll r$ );

b) molekulari orasidagi ta'sir kuchlari nolga teng bo.lgan ( $f_m \approx f_{um} \approx 0$ );

c) molekulari orasidagi to,qnashish – absolyut elastik sharlarning to,qnashishi kabi bo.lgan gazlarga aytiladi:

9. *Gaz bosimi* deb, gaz molekularining vaqt birligida, idish devorlarining yuza birligiga bergan kuch impulsiga aytiladi:

$$P = \frac{F \cdot \Delta t}{\Delta S \cdot \Delta t}$$

10.  $P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$  - *Ideal gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi* deb ataladi va gaz bosimi hajm birligidagi barcha molekularning kinetik energiyasining 2/3 qismiga teng.

11. *Bosim birliklari:*

1. SI:  $1 Pa = 1 N/m^2$

Bu kichik kattalik, shuning uchun  $1 bar = 10^5 Pa$  ishlatiladi.

2. SGS:  $1 \frac{dina}{sm^2} = \frac{10^{-5} N}{10^{-4} m^2} = 0,1 Pa$

3. Texnikada: a) Texnik atmosfera birligi

$$1at = 1 \frac{kG}{cm^2} = \frac{9,8 N}{10^{-4} m^2} \approx 9,8 \cdot 10^4 Pa \approx 0,98 bar.$$

b) Fizik atmosfera birligi.

$$1atm = 760mm.sim.ust. = \rho gh \approx 1,031 \frac{kG}{cm^2} \approx 1,01 \cdot 10^5 Pa \approx 1,01 bar$$

12. 1) *Termometrni* yaratishda termometrik modda tanlanadi. Bu simob, suv, spirt va h.k.

2) Temperaturaning son qiymatini belgilash ushun termometrik kattalikni temperaturaga bog.liqligini tanlash va aniqlash kerak. Masalan, simob  $t \sim t$  bog.liqligi.

13. Temperatura birligi gradusni aniqlash kerak. Gradus ham ixtiyoriy tanlanadi. Masalan, muzning erish va suvning qaynash temperaturalari *reper nuqtalar* deyiladi ( $0^\circ C$  va  $100^\circ C$ , *Anders Selsiy*).

$1^\circ C$  – muzning erish temperaturasidan normal sharoitda suvning qaynash temperaturasigacha bo.lgan temperatura intervalining yuzdan bir qismi.

14. *Absolyut temperatura:* gaz termometridan kam foydalaniladi. Uning asosiy vazifasi – gaz termometri bo,yicha barcha ishlatiladigan termometrlarni darajalashdir!  $P = nkT$  formuladan ko,rinadiki,  $P = 0$  da  $T = 0 K$ , lekin amalda  $P = 0$  emas!

15. Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolyut temperatura shkalasi* deb ataladi. Bunday shkalada hisoblangan temperatura *absolyut temperatura* deyiladi. U ko,pincha *Kelvin shkalasi* deb yuritiladi va  $K$  bilan belgilanadi. Masalan:  $293 K$  (yoki  $20^\circ C$ ). Turmushda esa Selsiy shkalasi ishlatiladi.

16. *Temperatura* – bu molekularning ilgarilanma harakat o,rtacha kinetik energiyasining o,lchovidir:  $T \sim \bar{E}_k$ , chunki  $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$ .

17.  $1 K$  temperatura absolyutn noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasigacha bo.lgan intervalning  $\frac{1}{273,16}$  qismiga teng.

Suvning uchlamchi nuqtasi  $0,01^\circ C$  teng bo.lgani uchun,  $1^\circ K \approx 1^\circ C$  teng va ular darajasining qiymati deyarli farq qilmaydi.

18. *Ideal gaz holat tenglamasi:* gazning uchta parametrini bog,lovchi tenglama *holat tenglamasi* deb ataladi. Uni quyidagi ko,rinishda yozish mumkin:

$$P = f(V, T);$$

19. *Mol* – Moddaning nisbiy molekulyar massasiga teng bo.lgan grammlarda ifodalangan modda miqdoriga *mol* deb ataladi.

Agar gazning molyar massasi  $\mu$  bo,lsa, unda

$$\mu = m N_A.$$

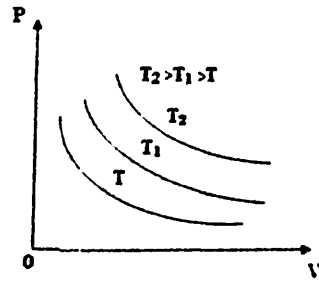
20.  $PV = \frac{M}{\mu}RT$  - *Mendeleyev - Klapeyron tenglamasi* - ideal gaz

holat tenglamasi.

21. 1 mol gaz uchun  $PV = RT$  ya'ni  $\frac{M}{\mu} = 1$  yoki  $M = \mu$  uchun Klapeyron tenglamasi.

22. *Boyl - Mariott qonuni*:  $T = const$ , ya'ni izotermik jarayonda  $PV = \frac{M}{\mu}RT$ .

$\frac{M}{\mu}RT = const$  bo'ldi. Shuning uchun  $PV = const$  (1-rasm).



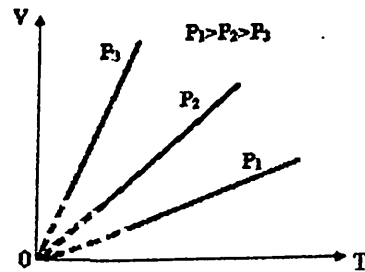
1-rasm.

23. *Ideal gazning siqiluvchanlik koeffitsienti*. Agar  $T = const$  holda siqiluvchanlik - hajmning bosimni bir birlikka o'zgarandagi nisbiy o'zgarishiga izotermik siqiluvchanlik koeffitsienti deyiladi:

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dV}{dP} \right)_T \text{ va } \chi = -\frac{1}{P}$$

**Birliklari:** SI da  $\chi = \frac{m^2}{N}$ , SGS da  $\frac{sm^2}{dina}$ .

24. *Gey-Lyussak qonuni*: Ideal gaz bosimi  $P = const$  bo'lsa, unda bu *izobarik jarayon* deb ataladi va  $V \sim T$ ,  $V = cT$  dir yoki  $V = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \alpha T$ .  $V = V(T)$  grafik koordinata boshidan boshlanadi (2-rasm).



2-rasm.

25. *Gazning o'zgarish bosimda hajmiy kengayish koeffitsienti*:

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{dV}{dT} \right) \text{ va}$$

Ideal gazning hajmiy kengayish koeffitsienti absolyut temperaturaning teskari kattaligiga teng  $\alpha = 1/T$ :

$$0^\circ C \text{ da } \alpha = \frac{1}{273} K^{-1}$$

26. *Izoxorik jarayon* ( $V = const$ ): Gaz hajmi o'zgarmas bo'lganda,

$$P = P_0(1 + \beta t) = P_0 \beta T \text{ yoki } \frac{P}{T} = const \text{ yoki}$$

$$P = CT$$

Sharl qonuni, ya'ni  $P \sim T$ . Gaz bosimi temperaturaga to'g'ri proporsional ekan va bu bog'lanishni xarakterlaydigan grafiklar *izoxoralar* (3-rasm) deb ataladi. O'zgarish hajmdagi bosimning

temperaturaviy koeffitsienti:

$$\beta = \frac{1}{P} \left( \frac{dP}{dT} \right)_V = \frac{1}{T}; \text{ Agar } t = 0^\circ C, \text{ bo'lsa, } \beta = \frac{1}{273} K^{-1}.$$

27. *Avogadro qonuni* -  $N$ -bir xil,  $P$  va  $T$  bir xil bo'lsa, ular birday hajmi egallaydi

$$P_1 = P_2, \quad N_1 = N_2, \quad T_1 = T_2, \quad V_1 = V_2.$$

1 mol gaz uchun  $t = 0^\circ C$  ( $273,15^\circ K$ ) va  $P = 10^5 Pa$  da  $V_A = 22,4 l$ .

28. *Dalton qonuni* - o'zaro reaksiyaga kirishmaydigan gaz aralashmasining bosimi ularning parsial bosimlari yig'indisiga teng:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i.$$

Dalton qonuni ham ideal gaz qonunlaridir. Real gaz uchun chetlashish mavjud.

29. *Gaz molekularining tezligi* - molekular ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi bilan absolyut temperatura o'rtasidagi bog'lanishdan aniqlanadi:

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

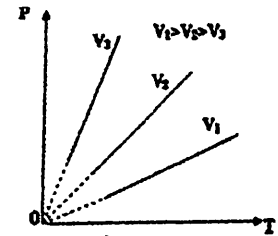
$$\sqrt{\bar{v}^2} = \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \text{ yoki } \bar{v} = \sqrt{\frac{3k \cdot N_A T}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$\sqrt{\bar{v}^2}$  - o'rtacha kvadratik tezlik.

30. *Broun harakati* - Suyuqlikda, gazda muallaq bo'lgan har qanday kichik zarracha to'xtovsiz va tartibsiz harakat qiladi.

31. *Broun xulosalari*:

1) Kolloid zarrachalar - to'xtovsiz tartibsiz harakat qiladi ekan;



3-rasm.

- 2)  $v \sim$  moddaning biologik xususiyatiga bog'liq emas;  
 3) Trayektoriyasi sinq chiziqlardan iborat;  
 4)  $v \sim T, T \rightarrow v \rightarrow$ .  
 5)  $v \sim \frac{1}{m}; \frac{1}{D}$  (zarracha massa va o'lchamiga teskari proporsional);  
 6)  $v \sim$  zarrachalar muhit molekularining zarbari natijasida harakat qiladi.

7) Broun harakati nazariyasi Eynshteyn va Smoluxovskiylar tomonidan ishlab chiqilgan.

**32. Barometrik formula** bosim yoki konsentratsiyaning balandlik ortishi bilan kamayib borishini ko'rsatuvchi tenglamadir:

$$P = P_0 e^{-\frac{mgh}{kT}} \text{ yoki } n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

**33.** Boltsman qonuni berilgan temperaturada aniq u potensial energiyaga ega bo'lgan molekularning ulushini ko'rsatadi:

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

**34. Voqeaning ehtimolligi** deb, voqea amalga oshadigan tajribalar sonining tajribalarning umumiy soniga nisbatini tajribalar soni cheksiz ortib borgandagi limitiga aytiladi, ya'ni,  $W = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N'}{N}$ .

Bunda  $N'$  – voqea amalga oshadigan tajribalar soni.  $N$  – umumiy tajribalar soni.

**35. Ehtimolliklarni qo'shish.**

$W_1, W_2, W_3$  va mustaqil va bir-birini istisno qiluvchi bir necha voqealarning ehtimolligi bo'lsa, bu voqealarning birortasining amalga oshish ehtimolligi bu barcha voqealarning ehtimolliklarining yig'indisiga teng:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = \sum W_i$$

**36. Ehtimolliklarni ko'paytirish teoremasi:** Bir necha voqealardan birortasining ehtimolligi boshqasining bo'lish-bo'lmasligiga bog'liq bo'lmasa, bunday voqealar *mustaqil* (erkin) voqealar deyiladi. Ikki yoki undan ortiq mustaqil hodisalarning birgalikda ro'y berish ehtimolligi ularning har birining alohida ehtimolliklarining ko'paytmasiga teng:

$$W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot \dots \cdot W_n$$

**37. Taqsimot funksiyasi:** Zarralarning tezlik bo'yicha taqsimotini o'rganishda tezliklari (komponentlari) ma'lum intervalda yotgan zarralar sonini izlaymiz.

Tezliklari  $v$  da  $v + \Delta v$  dagi  $\Delta n$  (hajm birligidagi) zarralar sonini qidiramiz:

$$\Delta n \sim \Delta v;$$

$$\Delta n = a \Delta v;$$

bu yerda  $a$  – proporsionallik koeffitsienti.

Bunda  $a = f(v) \cdot n$  (2) chunki, bu koeffitsiyent  $\sim v$  va  $\Delta n \sim n$ .

$$\Delta n = n f(v) \Delta v$$

Buni  $\frac{\Delta n}{n} = f(v) \Delta v$  yoki  $\lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta n}{n} = \frac{dn}{n} = f(v) \cdot dv$  ko'rinishda yozamiz.

a.  $f(v)$  tezliklari  $v$  da  $v + \Delta v$  gacha yotgan hajm birligidagi molekular ulushini bildiradi.

b. Agarda,  $\Delta v = 1$  bo'lsa,  $\frac{\Delta n}{n} = f(v)$  bo'ladi.

$f(v)$  – tezliklari  $v$  yaqinidagi tezliklar intervali birligida yotgan zarralar ulushiga teng  $f(v)$  funktsiya – taqsimot zichligi deyiladi.

Agar  $\lim_{\Delta v \rightarrow 0}$  dan differensial ko'rinishiga o'tsak,

$$\frac{dn}{n} = f(v) dv \quad (5)$$

c.  $f(v)$  da gaz hajm birligidagi molekularning ixtiyoriy bittasining  $v, v + dv$  intervaldagi tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir.

d.  $f(v)$  – gazning hajm birligidagi ixtiyoriy molekulasining  $v$  – tezlik yaqinidagi birlik intervalda yotgan tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir. Shuning uchun  $f(v)$  – ehtimollik zichligi deyiladi.

**38. Gaz molekularning tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimot qonunini**

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

gazning ixtiyoriy tanlangan molekulasining  $v$  va  $v + dv$  tezlik intervalida tezlikka ega bo'lish ehtimolligidir, yoki hajm birligidagi molekulaning ulushidir.

**39. Taqsimot funksiyasi** yoki ehtimollik zichligi:

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

gaz hajmi birligidagi molekularning tezliklari  $v$ ,  $v + \Delta v$  intervaldagi tezlikka ega bo'lgan molekularning ulushini bildiradi.

**40. O'rtacha arifmetik tezlik**  $\bar{v}_{ar}$  – hajm birligidagi molekularning hamma absolyut tezliklari yig'indisini hajm birligidagi molekular soniga nisbatiga teng, ya'ni

$$\bar{v}_{ar} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \text{ yoki } \bar{v}_{ar} = \frac{\int v \cdot dn}{n}, \text{ chunki } \int dn \cdot v = \sum_{i=1}^n v_i.$$

o'rtacha arifmetik tezlik  $\bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  yoki  $\bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$  ga teng ekan.

**41. Molekularning o'rtacha kvadratik tezligi**  $\bar{v}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}$  yoki

$$\bar{v}^2 = \int_0^\infty v^2 f(v) dv \text{ ifodadan aniqlanadi. } \bar{v}_{kv} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \text{ yoki } \bar{v}_{kv} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

**42. Molekularning eng katta ehtimoliy tezligi**  $v$  ni, ya'ni molekularning eng ko'p qismining tezliklariga yaqin bo'lgan tezlik. Buning uchun taqsimot funksiyasini  $f(v)$  ni  $\frac{d}{dv}$  bo'yicha hosilasini olib nolga tenglaymiz, ya'ni

$$\frac{d}{dv} [f(v)] = 0 \text{ Bundan } v_e = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \text{ yoki } v_e = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

**43. Nisbiy tezliklar uchun Maksvell formulasi:** Nisbiy tezlik

$$u = \frac{v}{v_e} \text{ uchun } f(u) = \frac{dn}{n \cdot du} = \frac{dn}{n \cdot \frac{dv}{v_e}} = f(v) \cdot v_e$$

Bu tenglama universal tenglamadir:  $f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2}$ . Taqsimot funksiyasining shakli modda turiga va temperaturasiga bog'liq emas.

**44. Fermi - Dirak taqsimoti:** Kvant sistemada yarim spinli zarrachalar ( $e, n, p$ ) – fermionlar uchun Fermi-Dirak taqsimoti o'rinli: 1.

$$\frac{\Delta n_i}{n} = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} + 1} \Delta \epsilon \text{ fermionlar uchun } \epsilon_i = \mu \text{ da } f(\epsilon) = \frac{\Delta n_i}{n} = 0.5.$$

**45.** Butun spinli zarrachalar ( $\nu, \pi, k$ ) – bozonlar uchun Boze-Eynshteyn taqsimoti o'rinli. Fermi-Boze-Eynshteyn taqsimoti uchun chegara yo'q. Har bir kvant holatida chegaralangan sonli zarrachalar bo'lishi mumkin:

$$\frac{\Delta n_i}{n} = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} - 1} \Delta \epsilon.$$

Agar  $\epsilon_i \gg \mu$  yoki  $e^{\frac{\epsilon_i - \mu}{kT}} \gg 1$  bo'lsa, bu taqsimotlar Maksvell – Boltsman taqsimotiga aylanadi.

**46. Moddaning ichki energiyasi** uning molekularining barcha energiyalarining yig'indisini, ya'ni ularning “ko'rinmaydigan” energiyasiga aytiladi. Umumiy holda, jismning ichki energiyasini quyidagicha yozish mumkin:

$$U = \sum_{i=1}^N W_{k_i} + \sum_{i,j} W_{p_{ij}} + \sum W_{\epsilon_i} + \sum_{i=1}^n W_{\nu_i}$$

**47. Ideal gazning ichki energiyasi** uning barcha molekularining kinetic energiyasini yig'indisiga teng:

$$U \approx \sum W_{k_i} = \frac{3}{2} N k T$$

va  $U \sim T$  ga bog'liq, bosim  $P$ , hajm  $V$  ga bog'liq emas!

**48. Issiqlik miqdori** – bir jismning ikkinchi jismga bevosita tekkanida yoki nurlanish yo'li bilan uzatiladigan issiqlik energiyadir.

**49. Issiqlikning mexanik ekvivalenti:** Mexanikaviy ish birligining issiqlik miqdori birligiga nisbatini ko'rsatadigan son *issiqlikning mexanikaviy ekvivalenti* deb ataladi:

$I = 4,1868 \text{ J/kal}$  yoki  $4186,6 \text{ J/kkal}$ . Bu kattalikka teskari bo'lgan kattalik *mexanikaviy ishning issiqlik ekvivalenti* deb ataladi:

$$I' = \frac{1}{I} = 0,239 \text{ kal/J} \approx 0,24 \text{ kal/J}.$$

**50. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni:** Sistemaga berilgan issiqlik miqdori uning ichki energiyasining o'zgarishi bilan sistemaning bajargan ishining yig'indisiga teng:  $dQ = dU + dA$ . Bu qonun, mexanikaviy va issiqlik energiyaga nisbatan energiyaning saqlanish qonuni bildiradi.

51. **Gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish:** gazning kengayishi yoki siqilishidagi bajarilgan ishini hajmga bog'liqligi

$$dA = F \cdot dx = P \cdot S \cdot dx = P \cdot dV \text{ yoki } A = \int PdV.$$

Bu yerda S-porshen yuzasi, dx- uning siljishi.

52. **Kvazistatik jarayonlar:** Gaz muvozanatda bo'lishi uchun o'zgarish asta-sekin bo'lishi kerakki, unda muvozanat holatidan chetga chiqishlar yo'qolishga ulguradi, gaz birinchi holatdan ikkinchisiga o'tuvchi qator oraliq holatlardan o'tadi.

Bunday jarayonlar, berilgan gaz parametrlari, har bir vaqtda butun hajm bo'yicha birday bo'ladigan statik holatdan kam farq qiladi

53. **Issiqlik sig'imi.** Jism temperaturasini 1K ga o'zgartirish uchun unga berish yoki undan olish kerak bo'lgan issiqlik miqdori:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

54. **Solishtirma issiqlik sig'imi.** Moddaning massa birligiga to'g'ri keluvchi issiqlik miqdori:

$$c = \frac{C}{m}, \text{ yoki } c = \frac{\Delta Q}{\Delta m \Delta t}$$

55. **Moddaning molyar issiqlik sig'imi.** Moddaning bir moliga to'g'ri kelgan issiqlik sig'imi:

$$C_\mu = \frac{C}{\nu}$$

56. **Termodinamikaning birinchi qonuni (tadbiqiy):**

$$dQ = C_\nu dT + PdV$$

Jismga berilayotgan issiqlik miqdori temperaturaning o'zgarishiga (ichki energiyaning o'zgarishiga) va hajmning o'zgarishiga (tashqi mexanik ish bajarishiga) sarf bo'ladi.

57. **Bir atomli gazlarning hajm o'zgarishidagi issiqlik sig'imi:**

$$C_\nu = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_\nu = \left( \frac{dU}{dT} \right)_\nu = \frac{3}{2} R \text{ chunki } U = \frac{3}{2} RT.$$

58. **Mayer formulasi:**

$$C_p - C_\nu = R$$

Universal gaz doimiysi - R, son jihatdan 1 mol ideal gazni 1°K isiganda kengayishda bajarilgan ishga teng:

$$R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot K \approx 2 \text{ kal/mol} \cdot K.$$

59. **Issiqlik funksiyasi:**  $I = U + PV$  - issiqlik funksiyasi yoki entalpiya deb ataladi. Texnikada esa bu kattalik issiqlik saqlami deb yuritiladi.

60. **Mexanikaviy sistemaning erkinlik darajalari soni** - sistemaning fazodagi harakati, vaziyati va konfiguratsiyasini belgilovchi mustaqil koordinatalar soni. Bir atomli gazlar uchun  $i=3$ , ikki atomli gazlar uchun  $i=5$  va uch hamda ko'p atomli gazlar uchun  $i=6$  ga teng.

61. **Teng taqsimot qonuni:** klassik statistik fizikadan Boltsman teoremasi: Agar molekular sistemasi T temperaturada issiqlik muvozanatida bo'lsa, u holda molekular o'rtacha kinetik energiyasi barcha erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlanadi va molekularning har bir erkinlik darajasi uchun  $\frac{1}{2}kT$  energiya to'g'ri keladi.

62. **Dyulong-Pti qonuni:** qattiq jismlar uchun  $T \geq 200^\circ K$  larda molyar issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lganidan,  $C_\nu = 3R = const$  shart bajariladi.

63. **Gazning izotermik jarayonda,** hajm o'zgarishida bajarilgan ishi:

$$\int dA = \int PdV \text{ va } A = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

1 mol gaz uchun emas, balki  $\frac{M}{\mu}$  mol gaz uchun  $A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ . Hajmning o'zgarishi bosimni ham o'zgartiradi, ya'ni  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ , bunda  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$ .

64. **Izobarik jarayonda bajarilgan ish:**

$$A = P(V_2 - V_1), \text{ chunki } A = \int_{V_1}^{V_2} PdV.$$

65. **Adiabatik jarayonda** gaz atrofidagi jismlarga issiqlik bermaydi ham, ulardan olmaydi ham. Demak,  $dQ = 0$ .

66. **Puasson tenglamasi:**  $PV^\gamma = const$  va  $\frac{C_p}{C_\nu} = \gamma$  - adaibata doimiysi

yoki adiabat ko'rsatkichi deb ataladi.

67. **Puasson-adiabata tenglamasining ko'rinishlari:**

a)  $PV^\gamma = const$ ; b)  $TV^{\gamma-1} = const$ ; c)  $T^\gamma P^{1-\gamma} = const$

68. **Adiabatik jarayonda bajarilgan ish:**

$$A = \frac{PV_1}{\gamma - 1} \left( 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right) = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right];$$

$$\frac{M}{\mu} \text{ mol gaz uchun } A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] \text{ boshqa ko'rinishda}$$

$$A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2) \text{ va } A = \frac{M}{\mu} \cdot C_v (T_1 - T_2) = -\Delta U$$

69. **Politropik jarayon:** Gaz jarayonlarida jarayonning bitta o'zi kamdan-kam uchraydi va ko'pincha bu ikkita va undan ortiq jarayonlar bir vaqtda ro'y berishi mumkin. Bunday jarayonlar **politropik jarayonlar** deyiladi.

70. **Politropik jarayon uchun termodinamikaning I qonuni:**

$$dQ = CdT = C_v dT + PdV$$

71. **Politropa tenglamasi:**  $PV^n = \text{const}$ ,  $n$  – politropa ko'rsatkichi deyiladi va  $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$ ,  $C$  – shu jarayondagi gazning molyar issiqlik sig'imi.

72. **Ideal gazning adiabatik siqilishi koeffitsienti:**  $\chi = -\frac{1}{\gamma P}$ .

Izotermik siqilish koeffitsienti  $\chi = -\frac{1}{P}$  edi va adiabatik jarayonda siqilish  $\gamma$  marta kam bo'ladi.

73. **Molekulalar to'qnashishi.** Molekulalarning harakat yo'nalishini boshqa molekula ta'sirida sezilarli burchakka o'zgarishiga **molekulalarning to'qnashuvi** deb ataladi.

74. **O'rtacha erkin yugurish yo'li:** Molekulalarning ikki ketma-ket to'qnashishlar orasida o'tgan masofa **erkin yugurish yo'li** deyiladi.

75. **Bitta molekulaning vaqt birligidagi to'qnashishlar soni:**  $z = \sqrt{2} \sigma \bar{v} n$  yoki  $\sigma = 4\pi r^2$  va  $z = 4\sqrt{2} \pi r^2 \bar{v} n$ . 1 sek da barcha molekulalarning to'qnashishlar soni

$$z' = \frac{Nz}{2} = 2\sqrt{2} \pi r^2 \bar{v} n N$$

va 1 sek da 1  $\text{cm}^3$  da to'qnashishlar soni

$$z'' = \frac{Nz}{2} = 2\sqrt{2} \pi r^2 \bar{v} n^2$$

76. **Molekulaning o'rtacha erkin yugurish yo'li:**  $\bar{\lambda} = \frac{\bar{S}}{\bar{\varepsilon} \cdot t} = \frac{\bar{v} \cdot t}{\bar{\varepsilon} \cdot t} = \frac{\bar{v}}{\bar{\varepsilon}}$

va  $\bar{\varepsilon} = 4\sqrt{2} \pi r^2 \bar{v} n$  bo'lgani uchun

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{4\sqrt{2} \pi r^2 \bar{v} n} = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi r^2 n} = \frac{0,057}{r^2 \cdot n}$$

77. **Molekulalar (zarrachalar) ning effektiv kesim yuzasi birliklari:**  $[\sigma] = 1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 = 1 \text{ barn}$ ,  $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

78. **Molekulyar dastaning gazda sochilishi:**  $N = N_0 e^{-\chi x}$ , sochilish  $x$ -eksponensial qonunga muvofiq holda ro'y beradi. Eksponensial egri chiziq tikligini  $\frac{1}{\lambda}$  kattalik belgilaydi va bu kattalik **sochilish koeffitsienti** deyiladi.

79. **Diffuzion oqim:** bir komponentaning konsentratsiyalar farqi ta'sirida siljishi bu **komponentaning diffuzion oqimi** deb ataladi. Bu oqim diffuziyalanuvchi komponentaning vaqt birligida oqimga perpendikulyar birlik yuzadan o'tgan miqdori bilan o'lchanadi.

Birliklari:

SI:  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ .

SGS:  $\text{gr/cm}^2 \cdot \text{s}$ .

Modda oqimi miqdori  $I$  esa  $\text{mol/cm}^2 \cdot \text{sek}$  yoki  $\text{molekula/cm}^2 \cdot \text{sek}$  da o'lchanadi.

80. **Statsionar va nostatsionar jarayonlar:** Jarayonda qatnashayotgan sistemaning parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan jarayon **nostatsionar jarayon** deyiladi, agar parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu jarayon **statsionar jarayon** deyiladi.

81. **Diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni):**  $I = -D \frac{dq}{dx}$  - diffusion

oqim gaz kamponentasining gradiyentiga to'g'ri proporsional:  $I \sim \frac{dq}{dx}$  (2)

$I$  – bizni qiziqtirgan komponentaning  $x$  bo'yicha diffuzion oqimi;

(-) ishorasi oqim konsentratsiyasining kamayish yo'nalishini ko'rsatadi;

$D$  – diffuziya koeffitsienti deyiladi.

Ma'nosi: konsentratsiya gradiyenti bir birlikka teng bo'lgandagi diffuzion oqimning son qiymatiga teng.

Agar oqimni miqdor hisobida qarash, unda konsentratsiya o'rniga  $1m^3$  dagi modda miqdori zichligini olishimiz kerak ( $q = \rho$ ):

$$I_m = M_c = -D \frac{d\rho}{dx}$$

Agar oqimni massa emas, zarralar soni bilan ifodalasak, konsentratsiya  $n = q$  bo'ladi va  $I = v_c = -D \frac{dn}{dx}$  bo'ladi.

### 82. Nostatsionar diffuziya tenglamasi:

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left(-D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l} \cdot t\right) \text{ yoki } \ln \Delta n = \ln \Delta n_0 - \frac{D \cdot S \cdot t}{V_0 \cdot l}$$

Tenglamadan ko'rinadiki,  $\Delta n$ -konsentratsiyalar farqi -  $t$  ga bog'liq holda ekviponentsial qonun asosida kamayib ekan va uning kamayish tezligi  $D \cdot \frac{S}{V_0 \cdot l}$  ga bog'liq.  $\frac{1}{D} \cdot \frac{V_0 \cdot l}{S} = \tau$  - bu kattalik vaqt o'lchamliligi ga ega bo'ladi,  $t = \tau$  bo'lsa,  $\Delta n = \frac{\Delta n_0}{e}$  ga teng bo'ladi ekan. Bu  $\tau$  - jarayonning vaqt doimiysi deyiladi, u konsentratsiyalar farqining  $e$  marta kamayishi uchun vaqtni ko'rsatadi. Shuning uchun

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-t/\tau}$$

ko'rinishda ifodalanadi.

### 83. Diffuziya koeffitsienti:

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v}$$

Diffuziya koeffitsientini gaz parametrlariga bog'liqligi:

$$1) D \sim \lambda, \bar{\lambda} \sim \frac{1}{p}, D \sim \frac{1}{p}. \quad p \rightarrow D \leftarrow;$$

$$2) D \sim \bar{v}, \bar{v} \sim \sqrt{T}, D \sim \sqrt{T}. \quad T \rightarrow D \rightarrow.$$

84. **Gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi.** Gazda issiqlik oqimining hosil bo'lishi - **issiqlik o'tkazuvchanlik** deyiladi. **Issiqlik oqimi** deb,  $\Delta S = lb$ ,  $\Delta t = 1s$  da o'tayotgan issiqlik miqdoriga aytiladi. Issiqlik oqimi:

$$q \sim \frac{dT}{dx}; \quad q = \frac{\Delta Q}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{dQ}{dS \cdot dt}$$

85. **Fure qonuni:**  $q = -K \frac{dT}{dx}$  - issiqlik oqimi temperatura gradiyentiga proporsional.  **$K$  - issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti**

deyiladi. Uning fizik ma'nosi:  $K$  - temperatura gradiyenti  $\frac{dT}{dx} = 1$  teng bo'lgandagi issiqlik oqimiga teng.

$$\text{Birliklari: SI: } [K] = \frac{J}{m \cdot s \cdot K} \text{ yoki } \frac{W}{m \cdot K}, \text{ SGS: } [K] = \frac{erg}{cm \cdot s \cdot K}$$

$$\text{Texnikada: } [K] = \frac{kJ}{m \cdot soat \cdot K}$$

86. **Nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlikda temperaturalar farqini o'zgarishi:**

$$\Delta T = \Delta T_0 \exp\left(-\frac{KS}{l\rho c_v V_0} t\right)$$

$\frac{l\rho c_v V_0}{KS} = \tau$  issiqlik o'tkazuvchanlik vaqti doimiysi - bu shunday vaqtki,  $t = \tau$  bo'lganda, temperaturalar farqi  $\Delta T$  e marta kamayadi:  $\Delta T = \Delta T_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

### 87. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti:

$$K = \frac{1}{3} n \bar{v} \lambda \frac{C_v}{N_A}$$

$C_v = c_v \cdot \mu = c_v \cdot m \cdot N_A$  bo'lgani uchun  $K = \frac{1}{3} mn \bar{v} \lambda c_v = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda c_v$  bo'ladi,

bu yerda  $\rho$  - gaz zichligi.  $K$  - ideal gazlarning issiqlik o'tkazuvchanligi uchun taxminiy formuladir, chunki real hollarda koeffitsiyent 1/3 hamma vaqt to'g'ri kelavermaydi.

### 88. Gazlarning qovushoqligi (ichki ishqalanish) koeffitsienti moduli:

$$|\eta| = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot \Delta t \cdot \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|} \text{ yoki } \eta = \frac{|\dot{v}|}{\left| \frac{dv}{dx} \right| \Delta S}$$

(-) ishorasi tezlik kamaygan yo'nalishda impuls ko'chishini ko'rsatadi.

$\eta$  ning fizik ma'nosi:  $\left| \frac{dv}{dx} \right| = 1$  bo'lganda  $1 \text{ sm}^2$  yuza dan  $1 \text{ sek}$  da oqimga

perpendikulyar bo'lgan yo'nalishda ko'chirib o'tilgan harakat miqdoriga (impulsga) qovushoqlik koeffitsienti deb aytiladi.

Birliklari: SI:  $\text{kg/m} \cdot \text{s};$

SGS:  $\text{gr/sm} \cdot \text{sek} = \text{Puaz}$  yoki  $\text{Pz}.$

89. **Puayzel formulasi:**  $\Delta P$  boʻlganda  $\Delta t = 1$  sek nayning birlik koʻndalang kesim yuzasidan oqib oʻtgan gaz hajmi  $V = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$ , yaʼni  $V \sim R^4, \sim \Delta P, \sim 1/\eta$ .

90. **Qovushoqlik koeffitsienti (gaz uchun):**  $\eta = \frac{1}{3} n \bar{v} m \bar{\lambda} = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \bar{\lambda}$  - yaʼni,  $\eta \sim \rho, \eta \sim \bar{v}, \sim \bar{\lambda}$ .

91. **Kritik holat:** Har bir modda uchun suyuqlik va gaz (suyuqlik bugʻi) orasida farq qolmaydigan biror temperatura mavjuddir, bundan yuqorida ( $T$ ) modda har qancha qisilsa ham bir jinsli boʻlib qoladi. Bu temperatura **kritik temperatura** deyiladi. Kritik temperaturaga mos kelgan solishtirma (molyar hajm) **kritik hajm** deb yuritiladi. Toʻyingan bugʻning kritik temperaturadagi bosimi **kritik bosim** deb ataladi.  $P_k, V_k$  va  $T_k$  - kritik holatlarni xarakterlaydi.

92. **Faza:** Agar sistema fizikaviy jihatdan turli holatda boʻlgan va bir-biridan ajralib turuvchi bir jinsli qismlarga boʻlinsa, bu qismlar uning **fazalari** deb ataladi.

93. **Fazaviy muvozanat:** Agar berilgan  $P$  va  $T$  da, uning fazalari bir-biriga tegib tursa, u yoki bu fazasi oʻsmasa, moddaning bunday holatiga **fazaviy muvozanat** deyiladi.

94. **Fazaviy oʻtish:** Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga oʻtishi **fazaviy oʻtish** yoki **fazaviy aylanish** deyiladi.

95. **Fazaviy diagramma:** Nuqtalari fazalarning muvozanatiga mos keluvchi egri chiziq **fazaviy diagramma** yoki **fazalarning muvozanat egri chizigʻi** deb ataladi. Bu egri chiziq nuqtalari moddaning bir fazali holatlariga mos keluvchi sohalarini ajratib turadi va moddaning muhim koordinatalaridan biridir.

Bunday diagrammalarni baʼzida **holat diagrammalari** deb ataladi.

96. **Van-der-Vaals tenglamasi - Real gazning holat tenglamasi:**

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

Bu tenglamada  $\frac{a}{V^2}$  - tortishish kuchlariga va  $b$  - itarishish kuchlariga

hamda xususiy hajmiga tuzatmalar,  $b = \frac{16}{3} \pi r^3 N_A = 4b_0, b_0 = \frac{4}{3} \pi r^3, \frac{M}{\mu}$  -

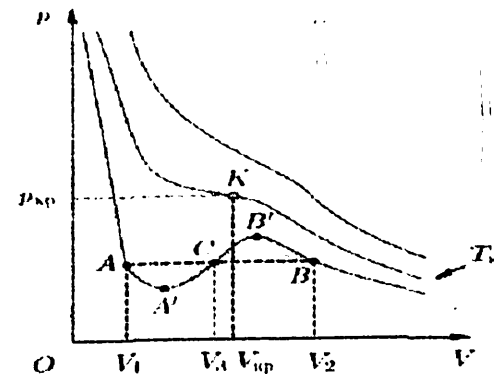
mol gaz uchun  $\left( P + \frac{M^2 a}{\mu^2 V^2} \right) \left( V - \frac{M}{\mu} b \right) = \frac{M}{\mu} RT$  boʻladi.

97. **Van-der-Vaals izotermalari (4-rasm):**

Van-der-Vaals tenglamasidan

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

Bu tenglama  $V$  ga nisbatan uchinchi darajali tenglamadir, yaʼni uning uchta ildizi bor. Demak, berilgan bosim va temperaturaning berilgan shu qiymatlarida molyar hajmning uch qiymati, yoki gaz zichligini uch qiymati boʻladi. Bu tenglamalarning uch ildizi haqiqiy, yoki 1-haqiqiy, 2-mavhum yoki boshqacha boʻlishi mumkin.



4-rasm.

98. **Real gaz uchun kritik parametrlar:**

$$V_k = 3b; P_k = \frac{a}{27b^2}; T_k = \frac{8a}{27bR} \quad (7)$$

99. **Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi:**

$\frac{T}{T_k} = \theta; \frac{P}{P_k} = \pi; \text{ va } \frac{V}{V_k} = \omega$  nisbatlar hamma gazlar uchun bir xil va ular:  $\theta, \pi, \omega$  - moddaning keltirilgan (oʻlchamsiz) parametrlari deyiladi. Holat tenglamasi  $\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) \left( \omega - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \theta$  koʻrinishda boʻladi. Tenglamada alohida

moddani xarakterlaydigan konstantalar  $\gamma, \mu$ . Shuning uchun bu tenglama universedir. Bu real gazning *keltirilgan holat tenglamasi* deb ataladi.

100. *Mos holatlar qonuni*:  $\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)\left(\omega - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\theta$  tenglamada

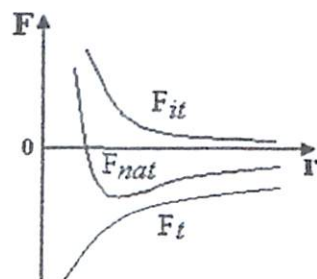
keltirilgan parametrlardan ikkitasi bir xil bo'lsa, u holda moddalarning uchinchi keltirilgan parametrlari ham bir xil bo'ladi. Bu qonun *mos holatlar qonuni* deyiladi.

101. *Real gazda molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari (5-*

*rasm)*:  $F = \frac{C_1}{r^m} - \frac{C_2}{r^n}$

Tortish (Van-der-Vaals) kuchlari uchun  $n \approx 2 \div 7$  bo'ladi,  $F_t \sim \frac{1}{r^n}$ , itarishish kuchlari uchun  $m \sim$

$3 \div 15$ ,  $F_u \sim \frac{1}{r^m}$ .



5-rasm.

102. *Real gazlarning issiqlik sig'imi*: Real gazlarda  $U \sim T$  va  $V$  ga bog'liq. Shuning uchun uni ichki energiyasi  $U = \sum E_p + \sum E_k$  ga teng.

$C_p = C_v + T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ . Ideal gaz uchun  $PV = RT$  dan

$T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = R$ . Real gazlarda  $C_p - C_v$  ayirma  $\sim R$  dan katta farq qilishi mumkin.

103. *Termodinamika*: Fizikaning moddani muvozanat sharoitlardagina issiqlik harakati bilan bog'liq bo'lgan umumiy xossalarini o'rganuvchi qismi *termodinamika* deb ataladi. Termodinamikada asosan mexanikaviy ishning issiqlikka, yohud har qanday energiyani issiqlikka aylanishi asosiy savollardan biri bo'ladi.

104. *Muvozanat holatlar*: Agar sistemaning holatini belgilovchi makroskopik kattaliklari o'zgarmas bo'lsa, sistema termodinamik muvozanatda bo'ladi. Asosiy parametrlar  $P, T, V$  - shuning uchun  $P = const, T = const$  bo'lganda,  $V = const$ . Bu holda issiqlik o'tkazuvchanlik, diffuziya, kimyoviy reaksiyalar, fazaviy o'tishlar asosan to'xtaydi.

105. *Qaytar jarayon*: *Qaytar jarayon* deb, sistema (jism) holatining shunday o'zgarishiga aytiladiki, sistema bu jarayon teskari yo'nalishda amalga oshirilganda u xuddi to'g'ri jarayonda o'tgan oraliq holatlari orqali teskari ketma-ketlikda o'zining dastlabki holatiga qaytsin. Biroq sistemadan tashqaridagi jismlarning holati o'zgarmay qolsin! Mexanikada agar ishqalanish bo'lmasa jarayonlar qaytar bo'ladi, sababi  $\mu \neq 0$  bo'lsa,  $\Delta A \rightarrow Q$  ajraladi. Sof mexanik jarayonlar qaytar bo'ladi! Yuqoridagi keltirilgan shartlarni qanoatlantirmaydigan jarayonlar *qaytmas jarayonlar* deb ataladi.

106. *Kvazistatik jarayonlar*: Butun jarayon davomida sistema muvozanat holatida qoladigan jarayonlar *kvazistatik jarayonlar* deyiladi. Kvazistatik jarayonlar qaytar jarayonlar bo'ladi.

107. *Termodinamikaning I bosh qonuni*: Agar sistemaga  $dQ$  berilsa, ning ichki energiyasi  $dU$  ga o'zgaradi va u  $dA$  ish bajaradi:

$$dQ = dU + dA = dU + PdV$$

$$dU = dQ - dA$$

Agar o'zgarish ro'y bersa, unda 1-holatdan 2-holatga o'tishda

$$\int_1^2 dU = \int_1^2 dQ - \int_1^2 dA$$

ifoda o'rinli bo'ladi.

Agar sistema qator holatlarni o'tib siklik jarayon (dastlabki holatga qaytsa) ish bajarsa, bu holda

$$\oint dU = 0 \text{ va } \oint dQ = \oint dA,$$

$\oint$  - berk kontur bo'yicha integrallashni bildiradi. Termodinamikaning I-qonuni muvozanatli jarayonlar uchun ham, nomuvozanatli jarayonlar uchun ham o'rinlidir.

108. *Issiqlikning mexanikaviy ishga aylanishi*:

a) *Kelvin prinsipi*. Siklik jarayonda  $dA = dQ$  teng bo'ladimi? Yo, q! Lekin 1854 yilda V. Tomson (Kelvin) tomonidan bunga salbiy javobni - umumiy tamoyil shaklida ifodaladi:

"Biror jismdan olingan issiqlik qandaydir jismlarda hech qanday o'zgarish vujudga keltirmay, yagona mexanikaviy ishga aylantirib beruvchi siklik jarayonni amalga oshirish mumkin emas!"

Sistema ish bajarishi uchun olingan issiqlik miqdori biror jismga berilishi zarur va bu jism ish bajarib o, zining avvalgi holatiga kelishi zarur. Bu jism – ishchi jism; issiqlik manbai – isitkich.

b) **Karno prinsipi.** Siklik mashinada ish bajarish uchun turli temperaturali ikki jism qatnashishi shart.

**109. Karno sikli:**

$$\left. \begin{aligned} \text{Isitkichdan olingan issiqlik miqdori, } Q_0 &= RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0}; \\ \text{va sovutkichga berilgan issiqlik miqdori, } Q_1 &= RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2}. \end{aligned} \right\}$$

bajarilgan ish,  $A = Q_0 - Q_1 = R(T_0 - T_1) \ln r$ . Bu yerda  $r = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_3}$ .

Siklning FIK

$$\eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0}.$$

**110. Karnoning 1-teoremasi:** Isitkich va sovutkichga berilgan temperatura qiymatlarida ishlaydigan har qanday issiqlik mashinasi Karno qaytuvchi sikli bo, yicha ishlaydigan mashina FIK dan yuqori FIK ga ega bo, lishi mumkin emas.

**111. Karnoning 2-teoremasi:** Karno siklining FIK  $\eta \sim T_0$  va  $T_1$  ga bog, liq, jism turiga bog, liq emas.

Karno sikli bo, yicha ishlaydigan qurilma issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun xizmat qiladi, ya, ni issiqlik isitkichdan sovutkichga beriladi (issiqlik dvigateli).

**112. Erkin energiya:** Sistemaning berilgan sharoitlarda mexanikaviy ishga aylantirishi mumkin bo, lgan energiyasining qismi **erkin energiya** deyiladi. Sistema o, zining erkin energiyasidan ortiq ish bajara olmaydi.

Agar sistemaning erkin energiyasi  $F$  bo, lsa, u holda sistemaning biror jarayonda bajargan ishi uning erkin energiyasining kamayishiga teng;

$$dA = -dF.$$

**113. Entropiya:**  $\frac{Q}{T}$  – Lorens ataganidek, **keltirilgan issiqlik** deb ataladi. Karno sikli uchun keltirilgan issiqliklar: yutilgandagisi

ajralgandagisiga teng. Bu nisbat  $\frac{Q}{T}$  holat funksiyasidir va u entropiyani kiritishga imkon beradi.

**Entropiya** – “εντροπιν” – grekcha so, z bo, lib, – o, zgarimoq, aylantirmoq degan ma, noni bildiradi.

$\frac{dQ}{T}$  holat funksiyasi bo, la olar ekan. Unda bu nisbat integralini  $S$  bilan belgilaymiz. Bu esa **entropiya** deb ataladi.

Agar sistema  $A \rightarrow B$  o, lsa, unda  $S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$ . Demak, sistemaning holatini o, zgarishini xarakterlash uchun uning entropiyasini o, zgarishini bilish ( $\Delta S$ ) kerak. Entropiyaning nol holatini qidirish shart emas! Lekin  $T = 0K$  da  $S = 0$  ekanligi isbot qilingan. Demak, sistemaning berilgan holatidagi entropiyasini ( $S$ ) aniqlash uchun uni  $S = 0$  holatiga o, tishdagi entropiyasining o, zgarishini topish kerak. Sistemaga  $dQ$  issiqlik berilganda sistemaning entropiyasining o, zgarishi  $dS = \frac{dQ}{T}$  bo, ladi.

**114. Termodinamikaning II qonuni:** Agar  $dQ = dA + dU$  da ga o, rniga  $T \cdot dS$  ni o, ysak  $T \cdot dS = dA + dU$  bo, ladi. Bu tenglama **termodinamik ayniyat** deb ataladi. U ko, pincha qaytar jarayonlar uchun **termodinamikaning II bosh qonuni** deb yuritiladi (Bu tenglama Termodinamikaning II qonunini differensial ko, rinishidir).

**115. Klauzius tengsizligi:**  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$  tengsizlik **Klauzius tengsizligi** deb ataladi.  $\frac{Q_0}{T_0} < \frac{Q_1}{T_1}$  – qaytmas jarayon uchun va jarayon qaytar bo, lsa

$\oint \frac{dQ}{T} = 0$  bo, ladi.  $S = const$  - Berk sistemadagi har qanday qaytuvchan jarayonda sistema entropiyasi o, zgarishsiz qoladi. Bunday jarayonlar izoentropik jarayon deb ataladi.

**116. Berk sistemadagi qaytmas jarayonlarda entropiyaning ortib borish qonuni:** Qaytmas jarayon uchun esa  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  o, rinli. Fizik ma, nosi:

$$\Delta S = \frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = S_0 - S_1 < 0, \text{ ya, ni entropiya ortib boradi.}$$

Sistema ish bajarishi uchun olingan issiqlik miqdori biror jismga berilishi zarur va bu jism ish bajarib o, zining avvalgi holatiga kelishi zarur. Bu jism – ishchi jism; issiqlik manbai – isitkich.

b) **Karno prinsipi.** Siklik mashinada ish bajarish uchun turli temperaturali ikki jism qatnashishi shart.

**109. Karno sikli:**

$$\left. \begin{aligned} \text{Isitkichdan olingan issiqlik miqdori, } Q_0 &= RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} ; \\ \text{va sovutkichga berilgan issiqlik miqdori, } Q_1 &= RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} . \end{aligned} \right\}$$

bajarilgan ish,  $A = Q_0 - Q_1 = R(T_0 - T_1) \ln r$ . Bu yerda  $r = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_3}$ .

Siklning FIK

$$\eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0}.$$

**110. Karnoning 1-teoremasi:** Isitkich va sovutkichga berilgan temperatura qiymatlarida ishlaydigan har qanday issiqlik mashinasi Karno qaytuvchi sikli bo, yicha ishlaydigan mashina FIK dan yuqori FIK ga ega bo, lishi mumkin emas.

**111. Karnoning 2-teoremasi:** Karno siklining FIK  $\eta \sim T_0$  va  $T_1$  ga bog, liq , jism turiga bog, liq emas.

Karno sikli bo, yicha ishlaydigan qurilma issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun xizmat qiladi, ya, ni issiqlik isitkichdan sovutkichga beriladi (issiqlik dvigateli).

**112. Erkin energiya:** Sistemaning berilgan sharoitlarda mexanikaviy ishga aylantirishi mumkin bo, lgan energiyasining qismi **erkin energiya** deyiladi. Sistema o, zining erkin energiyasidan ortiq ish bajara olmaydi.

Agar sistemaning erkin energiyasi  $F$  bo, lsa, u holda sistemaning biror jarayonda bajargan ishi uning erkin energiyasining kamayishiga teng;

$$dA = -dF .$$

**113. Entropiya:**  $\frac{Q}{T}$  – Lorens ataganidek, **keltirilgan issiqlik** deb ataladi. Karno sikli uchun keltirilgan issiqliklar: yutilgandagisi

ajralgandagisiga teng. Bu nisbat  $-\frac{Q}{T}$  holat funksiyasidir va u entropiyani kiritishga imkon beradi.

**Entropiya** – “εντροπία” – grekcha so, z bo, lib, – o, zgarimoq, aylantirmoq degan ma, noni bildiradi.

$\frac{dQ}{T}$  holat funksiyasi bo, la olar ekan. Unda bu nisbat integralini  $S$  bilan belgilaymiz. Bu esa **entropiya** deb ataladi.

Agar sistema  $A \rightarrow B$  o, lsa, unda  $S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$ . Demak, sistemaning holatini o, zgarishini xarakterlash uchun uning entropiyasini o, zgarishini bilish ( $\Delta S$ ) kerak. Entropiyaning nol holatini qidirish shart emas! Lekin  $T = 0K$  da  $S = 0$  ekanligi isbot qilingan. Demak, sistemaning berilgan holatidagi entropiyasini ( $S$ ) aniqlash uchun uni  $S = 0$  holatiga o, tishdagi entropiyasining o, zgarishini topish kerak. Sistemaga  $dQ$  issiqlik berilganda sistemaning entropiyasining o, zgarishi  $dS = \frac{dQ}{T}$  bo, ladi.

**114. Termodinamikaning II qonuni:** Agar  $dQ = dA + dU$  da ga o, rniga  $T \cdot dS$  ni o, ysak  $T \cdot dS = dA + dU$  bo, ladi. Bu tenglama **termodinamik ayniyat** deb ataladi. U ko, pincha qaytar jarayonlar uchun **termodinamikaning II bosh qonuni** deb yuritiladi (Bu tenglama Termodinamikaning II qonunini differensial ko, rinishidir).

**115. Klauzius tengsizligi:**  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$  tengsizlik **Klauzius tengsizligi** deb ataladi.  $\frac{Q_0}{T_0} < \frac{Q_1}{T_1}$  – qaytmas jarayon uchun va jarayon qaytar bo, lsa

$\oint \frac{dQ}{T} = 0$  bo, ladi.  $S = const$  - Berk sistemadagi har qanday qaytuvchan jarayonda sistema entropiyasi o, zgarishsiz qoladi. Bunday jarayonlar izoentropik jarayon deb ataladi.

**116. Berk sistemadagi qaytmas jarayonlarda entropiyaning ortib borish qonuni:** Qaytmas jarayon uchun esa  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  o, rinli. Fizik ma, nosi:

$$\Delta S = \frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = S_0 - S_1 < 0, \text{ ya, ni entropiya ortib boradi.}$$

**117. Termodinamikaning asosiy tenglamasi:** Termodinamikaning II qonunini qaytar jarayon uchun

$dA = -dF$ ,  $T \cdot dS = dU - dF$ ,  $F = U - T \cdot S$  - sistemaning erkin energiyasidir.  $T \cdot S$  - bog'lanagan energiya deyiladi, uni  $G$ -harfi bilan belgilasak,  $T \cdot dS = G$ .

$$F = U - G \quad (9)$$

$$U = F + G \quad (10)$$

Sistemaning ichki energiyasi erkin energiyasi bilan bog'lanagan energiyasining yig'indisiga teng.

**118. Entalpiya:**  $U + PV = I$

$I$  - entalpiya deyiladi.

Integrallasak,  $\Delta Q = U_2 - U_1 + (PV_2 - PV_1) = I_2 - I_1$

$$\Delta I = \Delta Q \quad (P = const)$$

Demak, sistemaning entalpiyasini o'zgarishi izobarik jarayonda sistemaga berilgan issiqlik miqdoriga  $\Delta Q$  teng! Shuning uchun ham  $I$ -ni issiqlik saqlami deb atashadi.

**119. Entropiya va ehtimollik:** Holat amalga oshadigan usullar soni **termodinamik ehtimollik** deyiladi va  $w$ -harfi bilan belgilanadi. Boltsman entropiyani termodinamik ehtimollik bilan bog'laydi:

$$\Delta S = k \ln \frac{w}{w_0} \text{ yoki } S = k \ln w - k \ln w_0 = k \ln w - S_0$$

$S_0 = k \ln w_0$  - entropiyaning hisob boshi bo'lib,  $S_0 = 0$  deb qabul qilingan. Bu hisob boshidagi hisoblangan entropiya  $S = k \ln w$ .

**120. Entropiya va tartibsizlik:** Katta tartibsizlik bilan xarakterlanadigan harakat tartiblashganroq holatga nisbatan katta termodinamik ehtimolga ega. (Tartibsiz harakatni tartibli harakatga keltirish qiyin). Shuning uchun issiqlik jarayonlari qaytmas jarayonlardir. Bu esa tartib va tartibsizlikning qaytmasligidir. Demak, tartibsizlik ortishi bilan entropiya ortadi, entropiya sistemaning tartibsizlik o'lchovidir.

**121. Entropiya va uning xossalari:**

a) Issiqlik uzatilishda  $dS = dS_A + dS_B = dQ \left( -\frac{1}{T_A} + \frac{1}{T_B} \right) > 0$ ,  $S \rightarrow$  entropiya oshadi.

b) gaz kengayganda  $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\Delta A}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} > 0$ ,  $S \rightarrow$

c) o'zaro diffuziyalanadigan jarayon uchun

$$\Delta S = R \left( \ln \frac{V}{V_1} - \ln \frac{V}{V_2} \right) \left. \begin{array}{l} V_1 \rightarrow V = (V_1 + V_2) \quad S_1 \rightarrow \\ V_2 \rightarrow V = (V_1 + V_2) \quad S_2 \rightarrow \end{array} \right\} S \rightarrow$$

d) Termodinamikaning II-qonunini Klauzius tengsizligi orqali ifodalanadi.

Berk sistemalarda siklik jarayonlar uchun  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$ .

"=" - qaytar jarayonlar uchun;

"<" - qaytmas jarayonlar uchun.

e) Entropiya va ehtimollik.  $S = k \ln w$ ,  $S_0 = k \ln w_0$ . Holat amalga oshadigan usullar soni **termodinamik ehtimollik** ( $w$ ) deyiladi.

f) Entropiyaning **max** qiymati sistemaning muvozanat holatiga to'g'ri keladi.  $n = \frac{N}{2}$ ,  $w \rightarrow max$ ,  $S \rightarrow max$  (2 ta qismdan iborat idishdagi  $N$  zarracha uchun).

g) Entropiya tartibsizlik o'lchovidir.

Mexanik energiya (tartibli harakat)  $\Rightarrow$  issiqlik energiya (tartibsizlik bo'ladi) entropiya ortadi. Bu jarayon qaytmas,  $S \rightarrow$ .  $S \rightarrow max$  da sistemaning energiyasini ishga aylantirish mumkin emas! Demak, entropiya sistemaning ish bajara olmaslik qobiliyatini xarakterlaydi.

**122. Termodinamikaning III bosh qonuni:** Absolyut 0 K temperaturada har qanday holat o'zgarishlarida absolyut nol entropiya o'zgarmaydi. Bu xulosani 1906 yilda Nernst ta'riflagan va u Nernst teoremasi deb yuritiladi. Termodinamikaning III bosh qonunini absolyut 0 temperaturaga erishib bo'lmazlik prinsipi bilan ham ifodalanadi.

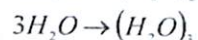
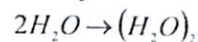
**123. Manfiy temperaturalar:** Boltsman qonunida esa hamma vaqt  $n < n_0$  edi:

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\frac{U}{kT} \text{ bundan } T = -\frac{U}{k \ln \frac{n}{n_0}}$$

Bunda  $n < n_0$  bo'lganda  $T > 0$  bo'ladi. Agar shunday sistema mavjud bo'lsaki,  $n > n_0$  dan katta bo'lsa,  $T < 0$  bo'ladi. Bu klassik sistema emas

(unda  $T < 0$  boʻlmaydi), kvant sistemasi uchun oʻrinli. Toʻla tartiblanish – zarralar eng quyi sathlarda toʻplangan. Bu holat  $0\text{ K}$  toʻgʻri keladi.

**124. Suv anomaliyasi:**  $4^0\text{ C}$  da suv zichligi  $\rho$  maksimum boʻladi. Sababi, suv molekullari assotsiatsiyalanadi:



hamda ogʻir suv molekullari paydo boʻladi. Solishtirma hajmi shu suv molekullari uchun har xil.

**125. Suyuqlik sirtining taranglashishi:** Agar suyuqlik, suyuqlik bugʻi bilan chegaralangan boʻlsa, unda  $n_{\text{bug}} \ll n_{\text{suyuq}}$  va  $r_b \gg r_s$  boʻlgani uchun sirt qatlamdagi molekulalarga suyuqlik ichiga yoʻnalgan kuch taʼsir qiladi va sirt taranglashadi. Sababi,  $F_s \gg F_b$ .

Molekula suyuqlikning sirt qatlamidan ichiga siljiganda musbat ish bajaradi  $A > 0$ . Aksincha, molekulalarning suyuqlik hajmidan uning sirtiga oʻtishda manfiy ish bajaradi, yaʼni tashqi ish bajarish kerak ( $A < 0$ ).

**126. Sirt energiyasi:** Suyuqlik sirtqi qatlami molekullari suyuqlikning hajmidagi molekulalarga qaraganda ortiqcha potensial energiyaga ega.  $U_s$  – bu energiya sirt molekullarining suyuqlik hajmidagi molekulalarning tortishish taʼsirida suyuqlik ichiga siljishida bajarishi mumkin boʻlgan ish bilan oʻlchanadi.

$$U_s = \sigma S \text{ yoki } dU_s = \sigma dS = -dA, \quad U_s \sim S \Rightarrow \min.$$

**127. Sirt taranglik koeffitsienti:**

a)  $\sigma = \frac{dA}{dS}$ , yaʼni suyuqlik sirtini bir birlikka oshirish uchun kerak boʻlgan ishga aytiladi.

b)  $\sigma = \frac{dU_s}{dS}$  – suyuqlikning bir birlik sirtiga toʻgʻri keladigan sirt erkin energiyasiga sirt taranglik koeffitsienti deyiladi.

c)  $\sigma = \frac{P}{l} = \frac{F}{l}$  – sirt taranglik koeffitsienti suyuqlikning erkin sirtiga urinma boʻylab taʼsir qiluvchi va suyuqlik sirti ajralish chizigʻining uzunlik birligiga toʻgʻri keluvchi kuchga teng kattalidir.

$$\text{Birliklari: } [\sigma] = \frac{N}{m}, \quad \frac{\text{dina}}{\text{sm}}.$$

**128. Suyuqlik va qattiq jism chegarasidagi muvozanat shartlari:** Suyuqlik qattiq jism bilan tegishganda ham xuddi shunday hodisalar roʻy

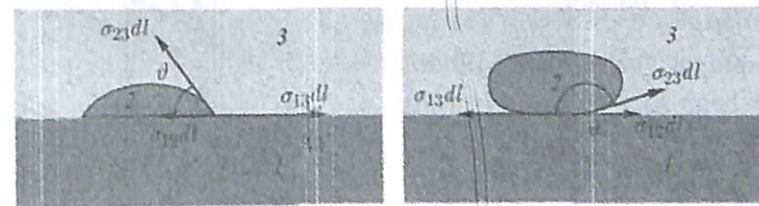
beradi. Bu holda uchta kuch: 1) ogʻirlik kuchi; 2)  $F_{s,s}$  – suyuqlik molekullarining oʻzaro taʼsir kuchi, 3)  $F_{s,q}$  – suyuqlik molekullari bilan qattiq jism zarrachalari orasidagi taʼsir kuchlari. Bu kuchlar munosabati uchun chegaraviy burchak  $\theta$ , yaʼni suyuqlikning sirtiga u bilan qattiq jism chegarasida oʻtkazilgan urinma hamda qattiq jism sirti hosil qilgan burchak  $\theta$  xarakteristikasi boʻla oladi (6-rasm):

1)  $\theta = 0$  da suyuqlik yoyilib ketadi! Suyuqlikning toʻla yoyilib ketish hodisasiga toʻla hoʻllash deb ataladi;

2)  $\theta = \pi$  – bu hol qattiq jismning toʻla hoʻllanmaslik sharti boʻladi;

3)  $\theta < \frac{\pi}{2}$  – qisman hoʻllash;

4)  $\theta > \frac{\pi}{2}$  – qisman hoʻllanmaslik boʻladi.



6-rasm.

**129. Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi bosim – Laplas bosimi:** Koʻp hollarda suyuqlik sirti egrilangan boʻlar ekan. Bu esa shu sirt ostida turgan suyuqlikka taʼsir qiluvchi bosimning paydo boʻlishiga olib keladi:

Sferik sirt uchun  $P = \frac{2\sigma}{r}$ , agar suyuqlikning sirti sferik boʻlmay, silindrik boʻlsa, u holda egrilanishi hosil qiladigan qoʻshimcha bosim  $P = \frac{\sigma}{r}$  boʻladi. Umumiy hol uchun, yaʼni absolyut sferik va silindrik

boʻlmagan murakkab sirt uchun  $P = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$  boʻladi. Bu Laplas tenglamasi deyiladi.  $r_1$  va  $r_2$  – sirtning berilgan nuqtasidagi, aniqrogʻi sirtning shu berilgan elementar sirti uchun asosiy egrilik radiuslari. Bu qoʻshimcha bosim hamma vaqt sirt egrilik markaziga yoʻnalgan boʻladi. Shuning uchun, *qavariq sirt*da  $P$  – suyuqlik ichiga yoʻnalgan. *Botiq sirt*da

$P$  sirtidagi suyuqlikka nisbatan kichik bosim boʻladi va suyuqlik sirtiga yoʻnalgan.

**130. Kapillyar hodisalar:** Agar suyuqlik qoʻyilgan idishning oʻlchamlari, yaʼni suyuqlikni chegaralovchi sirtlar orasidagi masofa suyuqlik sirtining egrilik radiusi bilan taqqoslanarli boʻlsa, u holda bunday idishlar kapillyar idishlar (qildek ingichka naycha) deb ataladi. Bunday idishlarda boʻladigan hodisalar *kapillyar hodisalar* deyiladi. Sirtning egriligi tufayli vujudga keluvchi qoʻshimcha bosim (Laplas bosimi) taʼsirida kapillyar siljish vujudga keladi:

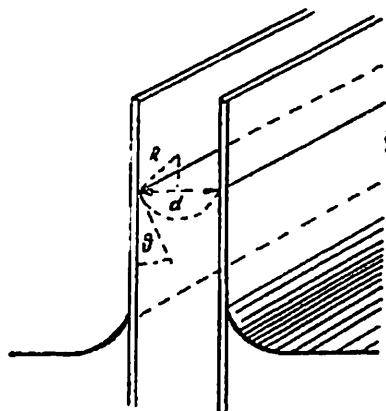
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos\theta$$

1) Agar  $\theta = 0$ ;  $\cos\theta = 1$  boʻlsa,

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \text{ boʻladi.}$$

Kapillyar koʻtarilish silindrik idishda ham roʻy beradi (7-rasm):

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \text{ chunki } \begin{cases} P = \frac{\sigma}{r} \\ P = \rho g h \end{cases} \text{ edi.}$$



7-rasm.

$r$  – kapillyar radiusi  $r = \frac{d}{2}$ .  $R = \frac{d}{2\cos\theta}$ , chunki  $R \cdot \cos\theta = \frac{d}{2}$ .

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d}$$

**131. Sirt taranglik koeffitsientini oʻlchashning metodlari:**

7. Tomchining uzilish metodi;
8. Suyuqlikning yupqa pardasini tutib turuvchi kuchlarni oʻlchash;
9. Kapillyarlarda suyuqlikning koʻtarilish metodi;
10. Halqaning suyuqlikdan uzilish metodi.
11. Kapillyar toʻlqinlar metodi.
12. Pufakchalar metodi (Rebinder metodi).

**132. Sirt taranglik koeffitsientini temperaturaga bogʻliqligi:** Sirt taranglik koeffitsientini temperaturaga bogʻliqligi ushbu elementar formula bilan aniqlanadi:

$$\sigma = B(T_i - T - \tau) \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{2/3}, T \rightarrow \sigma \leftarrow \text{(kamayadi).}$$

Bu yerda  $\tau$  – temperatura oʻlchamiga ega boʻlgan kichik kattalik.

$$\frac{d\sigma}{dT} = -B \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{2/3} < 0, \text{ demak, } T \rightarrow \sigma \leftarrow.$$

**133. Suyuqliklarning bugʻlanishi:** Bugʻlanuvchi molekullar ichki kuchlar  $A_1 = \int F_{int} \cdot dr$  va  $A_2 = P \cdot dV$  tashqi gaz va bugʻning bosimiga qarshi ish bajaradi. Bu esa molekullarning kinetik energiyasi hisobiga boʻladi, yaʼni  $\Delta E_k = A_1 + A_2$ . Molekullarning suyuqlikdan bugʻga oʻtishi *bugʻlanish* deyiladi. Bugʻning bosimi uning *elastikligi* deyiladi.

**Bugʻlanishning yashirin issiqligi.** Suyuqlikning maʼlum miqdorini  $T = const$  da  $P = P_b$  da bugʻlantirish kerak boʻlgan issiqlik *bugʻlanishning yashirin issiqligi* deyiladi. 1 kg suyuqlikni toʻla bugʻlanishi uchun kerak boʻlgan issiqlik miqdori *bugʻlanishning solishtirma yashirin issiqligi* deyiladi:

$$\lambda = \frac{\Delta Q_b}{\Delta m_b}$$

“Yashirin” deyishga sabab, berilayotgan issiqlik miqdori oshishi bilan temperatura oʻzgarmaydi.

**134. Toʻyingan bugʻlar elastikligining temperaturaga bogʻliqligi:**

$$P_i = n_p k T = n_p k T e^{-\frac{L}{kT}}$$

Bu yerda  $L$  – molyar bugʻlanish issiqligi. Demak, temperatura ortishi bilan bugʻ bosimi eksponensial ortadi.

**135. Suyuqlikning qaynashi** – Suyuqlikning keskin holda butun hajm boʻyicha bugʻ pufakchalari hosil qilib, ularning kattalashishi va suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilish jarayoni *qaynash* deb ataladi. Suyuqlikdan  $\rho_{zich}$  kam boʻlgan (fulukuatsiya tufayli) joylarda pufakchalar hosil boʻladi. Pufakcha toʻyingan bugʻli idishchadir.  $P_{puf} \geq P_{at}$  – bu esa qaynash shartidir. Suyuqliklarning butun hajm boʻyicha bugʻlanish jarayoniga qaynash deyiladi va bu qaynashning fizik taʼrifidir.

**136. Suyuq eritmalar:** Agar aralashmada moddalardan biri koʻp miqdorda boʻlsa, u holda bu aralashma *eritma*, koʻp miqdordagi modda esa *erituvchi* deb ataladi.

$P$  sirtidagi suyuqlikka nisbatan kichik bosim bo'ladi va suyuqlik sirtiga yo'nalgan.

**130. Kapillyar hodisalar:** Agar suyuqlik qo'yilgan idishning o'lchamlari, ya'ni suyuqlikni chegaralovchi sirtlar orasidagi masofa suyuqlik sirtining egrilik radiusi bilan taqqoslanarli bo'lsa, u holda bunday idishlar kapillyar idishlar (qildak ingichka naycha) deb ataladi. Bunday idishlarda bo'ladigan hodisalar *kapillyar hodisalar* deyiladi. Sirtning egriligi tufayli vujudga keluvchi qo'shimcha bosim (Laplas bosimi) ta'sirida kapillyar siljish vujudga keladi:

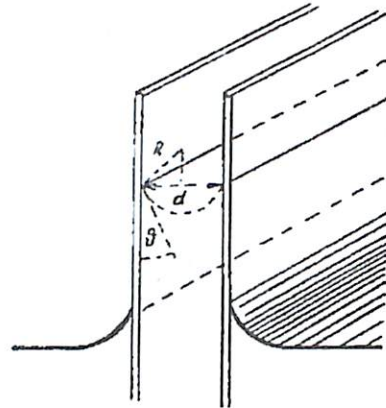
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos\theta$$

1) Agar  $\theta = 0$ ;  $\cos\theta = 1$  bo'lsa,

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \text{ bo'ladi.}$$

Kapillyar ko'tarilish silindrik idishda ham ro'y beradi (7-rasm):

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}, \text{ chunki } \begin{cases} P = \frac{\sigma}{r} \\ P = \rho g h \end{cases} \text{ edi.}$$



7-rasm.

$r$  – kapillyar radiusi  $r = \frac{d}{2}$ ,  $R = \frac{d}{2\cos\theta}$ , chunki  $R \cdot \cos\theta = \frac{d}{2}$ .

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d}$$

**131. Sirt taranglik koeffitsientini o'lchashning metodlari:**

7. Tomchining uzilish metodi;
8. Suyuqlikning yupqa pardasini tutib turuvchi kuchlarni o'lchash;
9. Kapillyarlarda suyuqlikning ko'tarilish metodi;
10. Halqaning suyuqlikdan uzilish metodi.
11. Kapillyar to'lqinlar metodi.
12. Pufakchalar metodi (Rebinder metodi).

**132. Sirt taranglik koeffitsientini temperaturaga bog'liqligi:** Sirt taranglik koeffitsientini temperaturaga bog'liqligi ushbu elementar formula bilan aniqlanadi:

$$\sigma = B(T_k - T - \tau) \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}}, T \rightarrow \sigma \leftarrow \text{(kamayadi).}$$

Bu yerda  $\tau$  – temperatura o'lchamiga ega bo'lgan kichik kattalik.

$$\frac{d\sigma}{dT} = -B \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}}, \frac{d\sigma}{dT} < 0, \text{ demak, } T \rightarrow \sigma \leftarrow.$$

**133. Suyuqliklarning bug'lanishi:** Bug'lanuvchi molekularlar ichki kuchlar  $A_1 = \int F_{\text{tor}} \cdot dr$  va  $A_2 = P \cdot dV$  tashqi gaz va bug'ning bosimiga qarshi ish bajaradi. Bu esa molekularlarning kinetik energiyasi hisobiga bo'ladi, ya'ni  $\Delta E_k = A_1 + A_2$ . Molekularlarning suyuqlikdan bug'ga o'tishi *bug'lanish* deyiladi. Bug'ning bosimi uning *elastikligi* deyiladi.

**Bug'lanishning yashirin issiqligi.** Suyuqlikning ma'lum miqdorini  $T = \text{const}$  da  $P = P_{\text{at}}$  da bug'lantirish kerak bo'lgan issiqlik *bug'lanishning yashirin issiqligi* deyiladi. 1 kg suyuqlikni to'la bug'lanishi uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdori *bug'lanishning solishtirma yashirin issiqligi* deyiladi:

$$\lambda = \frac{\Delta Q_b}{\Delta m_b}$$

“Yashirin” deyishga sabab, berilayotgan issiqlik miqdori oshishi bilan temperatura o'zgarmaydi.

**134. To'yingan bug'lar elastikligining temperaturaga bog'liqligi:**

$$P_0 = n_0 k T = n_0 k T e^{-\frac{L}{N_0 k T}}$$

Bu yerda  $L$  – molyar bug'lanish issiqligi. Demak, temperatura ortishi bilan bug' bosimi eksponensial ortadi.

**135. Suyuqlikning qaynashi** – Suyuqlikning keskin holda butun hajm bo'yicha bug' pufakchalari hosil qilib, ularning kattalashishi va suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilish jarayoni *qaynash* deb ataladi. Suyuqlikdan  $\rho_{\text{zich}}$  kam bo'lgan (fuluktuatsiya tufayli) joylarda pufakchalar hosil bo'ladi. Pufakcha to'yingan bug'li idishchadir.  $P_{\text{puf}} \geq P_{\text{at}}$  – bu esa qaynash shartidir. Suyuqliklarning butun hajm bo'yicha bug'lanish jarayoniga qaynash deyiladi va bu qaynashning fizik ta'rifidir.

**136. Suyuq eritmalar:** Agar aralashmada moddalardan biri ko'p miqdorda bo'lsa, u holda bu aralashma *eritma*, ko'p miqdordagi modda esa *erituvchi* deb ataladi.

**Konsentratsiya.** Eritmaning miqdoriy tavsifi – konsentratsiya degan kattalik bilan xarakterlanadi va uning quyidagi baholash usullari mavjud.

1. Og'irlik ulushi – erigan modda og'irligining (massasining) butun eritma og'irligiga (massasiga) nisbati bilan o'lchanadi va u *og'irlik bo'yicha konsentratsiya* deyiladi;

2. Molyar ulushi – erigan modda mollari sonining eritma umumiy mollar soniga nisbatidir. Bu foizlarda *molyar konsentratsiya* deyiladi:

$$C_v = \frac{v_1}{v_1 + v_2} = \frac{N_1}{N_1 + N_2}$$

Bu yerda  $v_1$  – erigan moddaning mollar soni va  $N_1$  – molekullari soni,  $v_2$  – erituvchining mollar soni va  $N_2$  – uning molekullari soni;

3. Molalik – 1000 gr erituvchida erigan modda mollar soni. Eritmalarda biror maksimal konsentratsiyagacha eriydi. Bu konsentratsiya *eruvchanlik* deb ataladi. Maksimal konsentratsiyali eritma to'yingan eritma deb ataladi (masalan: suv-NaCl).

**Erish mexanizmi.** Erish jarayonida erituvchi A moddada eruvchi B modda molekullari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari asosiy rol o'ynaydi, ya'ni  $f_{AA}$ ,  $f_{BB}$ ,  $f_{AB}$  kuchlarning kattaligi va konsentratsiyaning kattaligiga bog'liq.

**Erish issiqligi.** Eruvchi moddaning zarralarga ajralib, eritma zarralari bilan aralashib ketishi uchun energiya sarflanishi kerak bo'ladi. Bu esa eruvchi va erituvchi zarralari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlariga bog'liq bo'ladi, bu kuchlar shu jarayonda ish bajaradi, energiya sarf qilinadi va bu energiya *erish issiqligi* deb ataladi. Birligi ko'pincha J/mol larda o'lchanadi. Erish issiqligi ichki energiya hisobiga bo'lgani uchun eritma soviydi (masalan, suv-NaCl). Qator hollarda erish jarayonida eritmalar isiydi, ya'ni erish jarayonida energiya ajralib chiqadi. Bunda  $f_{AB}$  kuchlari  $f_{AA}$ ,  $f_{BB}$  kuchlarga nisbatan katta.

**137. Raul qonuni - Ideal eritma ustidagi to'yingan bug'larning elastikligi:** Eritma sirtida bug'lanayotgan eruvchi va erituvchi molekullarining soni va bosimi mos ravishda eritma komponentalarining konsentratsiyasiga bog'liq. Agar B modda A erituvchida erigan bo'lsa, ularning konsentratsiyalari mos ravishda  $n_B$  va  $n_A$  bo'lsa, u holda eritma ustidagi bug'larning parsial bosimlari quyidagicha ifodalanadi:

$$P_A = n_A \cdot P_A^0 = \frac{v_A}{v_A + v_B} \cdot P_A^0 \quad \text{va} \quad P_B = n_B \cdot P_B^0 = \frac{v_B}{v_A + v_B} \cdot P_B^0$$

Bu yerda  $v_A$  va  $v_B$  – mos ravishda A va B moddalarning mollar soni,  $P_A^0$  – toza A moddaning shu temperaturadagi to'yingan bug'lanish bosimi;  $P_B^0$  – toza B modda ustidagi to'yingan bug'lanish bosimi.

**138. Genri qonuni:** Eritma moddaning eritma ustidagi to'yingan bug'lanish bosimi shu moddaning eritmadagi konsentratsiyasiga proporsional:

$$P_{e,m} = C n_{e,m} = P_{e,m}^0 \cdot n_{e,m}$$

bu yerda C – ideal eritmalar uchun shu temperaturadagi toza modda ustidagi to'yingan bug'lanish bosimiga teng bo'lgan konstantadir.

To'yingan bug'lanishda eritmadan bug'ga o'tayotgan molekullar soni bug'dan eritmaga o'tayotgan molekullar soniga teng. Shuning uchun suyuqlikda erigan moddaning konsentratsiyasi uning eritma ustidagi bosimiga proporsional bo'ladi.

$$n_{e,m} = \frac{1}{P_{e,m}^0} \cdot P_{e,m} = C' P_{e,m}$$

Bu *Genri qonuni* deb ataladi.

**139. Eritmalarning qaynash temperaturasi:** Eritmaning qaynash temperaturasi sof erituvchining temperaturasidan yuqori bo'ladi. Qaynash temperaturasining o'zgarishi Klauzius-Klapeyron tenglamasidan foydalanib quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta T_c = \frac{RT^2}{r} \cdot n_{e,m}$$

Bu yerda  $\Delta T_c$  – eritmaning va sof erituvchining qaynash nuqtalari orasidagi farq,  $r$  – sof erituvchining molyar bug'lanish issiqligi va  $n_{e,m}$  – eritmaning konsentratsiyasi – erigan moddaning ulushi.

**140. Osmotik bosim:** Erituvchini eritmaga o'tishi osmos va erigan moddaning yarim singdiruvchi to'siqqa ko'rsatgan bosimi *osmotik bosim* deb ataladi. Osmotik bosim  $\pi$  eritmaning konsentratsiyasiga to'g'ri proporsional va uning hajmiga teskari proporsional. Vant-Goff bu bog'lanishni quyidagicha ifodaladi:

$$\pi V = \nu RT$$

Bu yerda V – eritmaning hajmi,  $\nu$  – erigan modda mollari soni. Bu tenglama *Vant-Goff qonuni* deb yuritiladi.

141. *Vant-Goff qonuni.* Erigan moddaning osmotik bosimi shu moddaning gazsimon holatda shu temperaturada va xuddi shunday hajmda ko'rsatishi mumkin bo'lgan bosimga tengdir. Demak, osmotik bosim yarim singdiruvchi to'siqning turiga ham, eritmaning turiga ham bog'liq emas.

142. *Amorf jismlar.* Amorf jismlar shaklga ega bo'lib, ularning ko'p xossalari suyuqlik xossalariga o'xshash bo'ladi. Ularning xossalari yo'nalishga bog'liq bo'lmaydi. Amorf jismlarga shisha, smola, plastmassa va boshqa jismlar misol bo'lishi mumkin. Amorf jismlar qizdirilganda, ular asta-sekin yumshab, suyuq holatiga o'tishi mumkin va keyinchalik u suyuqlikning xossalariga bo'ysunadi, xususan oquvchanlik xususiyatiga ega.

143. *Kristall qattiq jismlar.* Kristall qattiq jismlar – metallar asta-sekin yumshab, suyuqlikka aylanmasdan, aniq bir temperaturada susyuqlikka aylanadi, ya'ni eriydi. Uning bu temperaturasi erish temperaturasi deyiladi. Har xil metallarning tuzilish strukturasi, ularning atomlarining orasidagi masofa har xil bo'lgani uchun ularning erish temperaturasi har xil bo'ladi. Shuningdek, kristall jismlar, xususan metallarning xossalari har xil yo'nalishlarda har xil bo'lish xususiyatiga ega, ya'ni ular anizotrop moddalardir.

144. *Monokristallar.* Monokristallarda – ularni tashkil qilgan zarrachalar ularning butun hajmi bo'yicha muayyan tartibda joylashgan bo'ladi. Ularning zarrachalari atomlar, ionlar, molekular bo'lishi mumkin. Shuning uchun ular metallar, ionli kristallar, molekulyar kristallar deb ham ataladi. Monokristallar o'zlarining xossalariga ko'ra asosan anizotrop moddalardir.

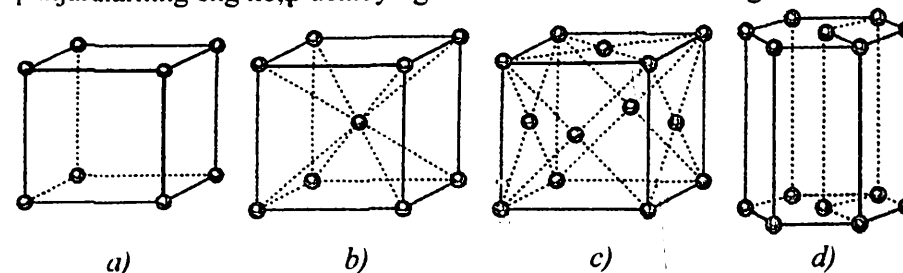
145. *Polikristallar.* Polikristallar kichik-kichik hajmlarda muayyan tartibda joylashgan zarrachalardan iborat kichik kristallchalardan tashkil topgan bo'lib, ularning xossalari yo'nalishlarga bog'liq emas va ular izotrop moddalardir.

146. *Kristall panjaralar.* Kristall moddalarda unlarining zarrachalari ularning jahmi bo'yicha (orasida) muayyan tartib bilan joylashgan. Ularning zarrachalarini xayolan birlashtirsak, panjara hosil bo'ladi va bu panjara kristall panjara deyiladi. Zarralarining muvozanat holatida joylashgan nuqtalari kristall panjara tugunlari deyiladi. Kristall panjaraning bir elementi, "katakchasi" uning elementar yacheykasi deyiladi. Uni o'ziga

- o'zini parallel ko'chirish asosida butun jism kristall panjarasini hosil qilish mumkin.

147. *Kristallarning simmetriyasi.* Kristall jismlar simmetriyaga ega bo'ladi. Kristallarning simmetriyasi, ularning turlari 1867-yilda A.V.Gadolin tomonidan o'rganilib, ularni 32 xil kombinatsiyadagi simmetriyalarga ajratish mumkinligini ko'rsatdi va ularni simmetriya sinflari deb atadi.

148. *Kristallarning elementar fazoviy panjara turlari.* Kristallarning elementar fazoviy panjara turlari O.Brave tomonidan o'rganilib, ular Brave panjaralari deb ataldi va shartli ravishda 14 xil turga bo'lingan. Bu panjaralarning eng ko'p uchraydigan turlari 8- rasmda keltirilgan.



8 - rasm.

Ulardan eng soddasi kub shaklida bo'lib, bunday panjaraga Na, K, NaCl, KCl lar ega (8.a - rasm). Hajmiy markazlashgan kub panjaradan tashqari kub markazida ham bitta atom joylashgan bo'ladi (8.b - rasm). Bunday kristall panjaraga W, Ta, Nb va boshqa metallar ega. Yoqlari markazlashgan kub panjaraga Au, Pt, Co, Ni, Ir va boshqa metallar panjaralari misol bo'ladi (8.c - rasm). Bunday kub panjara tugunlarida hamda kub yoqlari markazida ham kristall atomlari joylashgan bo'ladi.

Nisbatan murakkab kristall panjara – bu geksagonal zich joylashgan kristall panjaradir (8.d - rasm). Bu kristall panjara 6 yoqli prizma ko'rinishida bo'lib, har 6 yoq tugunlarida hamda 6 yoq markazida ham atomlar joylashgan bo'ladi. Bunday kristall panjaraga Ti, Zr, Hf kabi metallar ega.

149. *Kristallarda tekislik va yo'nalishlarning simvolik belgilanishi.* Kristallarda tekislik va yo'nalishlarning simvolik belgilanishi Miller indekslari bilan belgilash qabul qilingan. Miller indekslari quyidagicha kiritiladi: kristallografik tekislik koordinatalar o'qlarida m, n, p kesmalarni

hosil qilib, ularni kesib oʻtsin. U holda bu tekislikning bu kesmalardagi tenglamasi quyidagi koʻrinishda yoziladi:

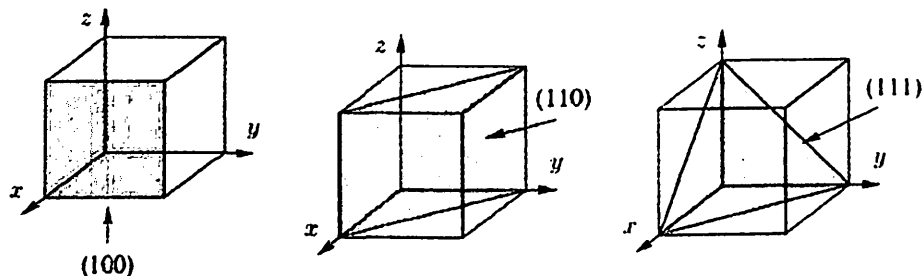
$$\frac{x}{m} + \frac{y}{n} + \frac{z}{p} = 1$$

Umumiy maxraj berib, tekislikning tenglamasini umumiy koʻrinishda yozamiz:

$$hx + ky + lz = D$$

Bu yerda  $x, y, z$  lar oldidagi koeffitsiyentlar Miller indeksleri ( $h, k, l$ ) deyiladi va  $[hkl]$  shaklda ifodalanadi.

**150. Ekvivalent tekisliklar.** 9-rasmda kub panjara uchun asosiy (100), (110) va (111) tekisliklar koʻrsatilgan.



9-rasm

Shuningdek, ekvivalent tekisliklarni kub panjara misolida koʻrishimiz mumkin. Masalan. Kub panjarada (100), (010), (001) yoqlar ekvivalent hisoblanadi. Shunday qilib, Miller indeksleri bitta yagona tekislikni ifodalamasdan, unga parallel boʻlgan tekisliklar hamda ekvivalent tekisliklarni ifodalaydi va bu tekislik yoʻnalishida kristallografik va fizik kattaliklar bir xilda boʻladi.

**151. Dyulong-Pti qonuni.** Moddani 1 molida  $N_A$  ta zarracha boʻlgani uchun jismning molyar energiyasi  $U = N_A \cdot 3kT$  ga teng boʻladi. U holda uning molyar issiqlik sigʻimi  $C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3R \approx 6 \text{ kal/K} \cdot \text{mol}$  ga teng boʻladi. Demak, issiqlik muvozanati sharoitida qattiq jismning molyar (atomar) issiqlik sigʻimi modda turiga va temperaturasiga bogʻliq boʻlmay,  $C_V = 3R$  ga teng ekan. Bu xulosa **Dyulong - Pti qonuni** deyiladi.

**152. Qattiq jismning issiqlik sigʻimining temperaturaga bogʻliqligi.** Eynshteyn (1907 - yilda) qattiq jismning issiqlik sigʻimining temperaturaga bogʻliqlik formulasini keltirib chiqardi:

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3N_0k \frac{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 \frac{h\nu}{e^{kT}}}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)^2}$$

Bu formula qattiq jism uchun atomar (molyar) issiqlik sigʻimi uchun Eynshteyn formulasidir.

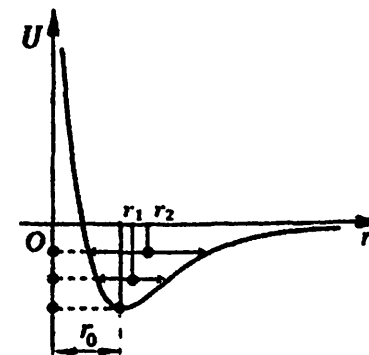
**153. Debay qonuni.** Past temperaturalarda ossilyatorlarning energiyasi Plank nazariyasiga asosan  $T^4$  ga bogʻliq deb faraz qilingan. U holda past temperaturalarda qattiq jismning molyar ichki energiyasi  $U = N_A w = aT^4$ , bu ifodadan qattiq jismning molyar issiqlik sigʻimi uchun

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 4aT^3 \sim T^3$$

bogʻlanish kelib chiqadi.  $a$  - oʻzgarmas koeffitsiyent. Bu bogʻlanishda, past temperaturalarda qattiq jismning molyar issiqlik sigʻimi temperaturaning kubiga bogʻliq ekan, yaʼni Debayning issiqlik sigʻimi uchun kub qonuni kelib chiqadi.

**154. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi.** Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishi uning issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsienti  $\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T}$  va hajmiy kengayish koeffitsienti  $\beta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}$  bilan xarakterlanadi. Demak, qattiq jismning issiqlikdan chiziqli kengayish koeffitsienti —bu uning temperaturasi  $1^\circ \text{C}$  ga oʻzgarganda uning chiziqli oʻlchamining nisbiy oʻzgarishiga aytiladi. Bu yerda  $l_0$  va  $V_0$  — jismning boshlangʻich chiziqli va hajmiy oʻlchamlari,  $\Delta l$  va  $\Delta V$  — ularning oʻzgarishlaridir.  $\beta$  va  $\alpha$  orasidagi bogʻlanish  $\beta \approx 3\alpha$  kabi boʻladi.

**155. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishining fizik sababi:** Temperatura ortishi bilan atomlarning tebranma harakati kuchayadi, uning kinetik energiyasi ortadi, tebranish amplitudasi ham ortadi. Qattiq jismning temperaturasi ortsa, yaʼni  $T$  ga teng boʻlsa, uning kinetik energiyasi  $\frac{1}{2}kT$  ga teng boʻladi.



10-rasm.

Ikkinchi tur fazaviy o'tishga metallarning absolyut nol temperatura yaqinida uning qarshiligining keskin kamayib nolga intilishi misol bo'ladi. Shu jumladan temperatura ortishi bilan, Kyuri temperaturasidan yuqorida segnetoelektrlarning dielektrik singdiruvchanligi keskin kamayadi.

#### Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекуляр физика. «Ўқитувчи», Тошкент. 1978 й.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. Москва. 2017.
3. Радченко И.В. Молекулярная физика. Москва, Наука, 1965, - 479 с.
4. Сивухин Д.П. Умумий физика курси. 1-том. Механика. Тошкент, «Ўқитувчи» 1981 й.
5. Jearl Walker. Fundamentals of Physics. 2007. CERN. 1541 p. (514 p.)
6. Жўраев Ў. Молекуляр физика. Турон – Иқбол. 2019.
7. Карабаева М.А. Молекуляр физика. Университет -2014.
8. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Умумий физика. I том. Тошкент. «Ўқитувчи», 1965 й.
9. Физический энциклопедический словарь, Москва. Энциклопедие М.2010.

K.A.TURSUNMETOV, F.Y.TURGUNBAYEV

# MOLEKULYAR FIZIKA

DARSLIK

Muharrir B.D.Saʼdullayev

Bosishga ruxsat etildi 15.01.2025y. Bichimi 60X84  $\frac{1}{16}$ .  
Bosma tabog.,j 17,25. Shartli bosma tabog.,j 17,5. Adadi 150 nusxa.  
Buyurtma №48. Bahosi kelishilgan narxda.  
“Maʼrifat” nashriyoti. Toshkent, Salorbo.,yi ko.,chasi, 35A.  
O.,zbekiston Milliy universiteti bosmaxonasida bosildi. Toshkent,  
Talabalar shaharchasi, O.,zMU.

ISBN 978-9910-709-08-1



9 789910 709081