маъруза матни

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

MIRZO ULUG`BEK NOMIDAGI
O`ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

R.Abdullaev, I.X.Xamidjonov, M.Qoraboyeva

MOLEKULYAR FIZIKA

O`quv qo`llanma

TOSHKENT -2005

ANNOTATSIYA

Mazkur o`quv qo`llanma umumiy fizika kursining amaldagi dasturi asosida tuzilgan bo`lib, unga molekulyar fizika va termodinamika asoslarini o`rganish bilan bog`liq bo`lgan mavzular kiritilgan. Unda asosiy e`tibor mazkur fanda o`rganiladigan hodisalarning mohiyatini yoritishga qaratilgan. Bundan tashqari fandan olingan bilimlarni mustaxkamlash maqsadida har bir bobdan keyin kontrol savollar va masalalar berib o`tilgan. Ilovada esa mazkur fanda uchraydigan ba`zi doimiylar va fizik kattaliklarning son qiymatlari jadval ko`rinishida keltirilgan bo`lib, undan talaba berilgan masalalarni yechishda kerak bo`ladigan ma`lumotlarini olishi mumkin.

Ushbu o`quv qo`llanma universitet talabalari uchun mo`ljallangan.

Tuzuvchilar: dots. R.Abdullaev, f.-m.f.n. I.X.Xamidjonov,
dots. M.Qoraboyeva

Taqrizchilar: f.-m.f.d. dots. Zikrillaev N.F.
f.-m.f.n. dots. Axmadjonov T.

Mas`ul muharrir: f.-m.f.d. prof. O.O.Mamatkarimov

Mirzo Ulug`bek nomidagi O`zbekiston Milliy universiteti o`quv - metodik kengashining 28 yanvar 2005 yil majlis qaroriga muvofiq, nashrga tavsiya etildi. (bayonnoma № 5)

МУНДАРИЖА

KIRISh		5
I-Bob. Modda xossalarini o`rganishdagi modellar va usullar		9
1.§	Modda xossalarini o`rganishdagi modellar	9
2.§	Fizikada dinamik va statistik usul	10
3.§	Ehtimollar nazariyasidan elementar ma`lumotlar	11
4.§	Taqsimot funksiyasi	14
5.§	Gauss taqsimoti	15
6.§	Tizimning mikroskopik va makroskopik holati	16
7.§	Binomal taqsimot	18
8.§	Fluktuasiya	19
II-Bob. Ideal gazlarning kinetik nazariyasi		23
9.§	Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi	23
10.§	Issiqlik va temperatura	24
11.§	Temperaturani aniqlash	25
12.§	Temperaturaning molekulyar-kinetik ma`nosi	26
13.§	Mendeleev-Klapeyron tenglamasi	28
14.§	Ideal gaz qonunlari	29
15.§	Gaz molekulalarining tezliklarini aniqlash	30
16.§	Broun harakati	31
17.§	Bolsman taqsimoti	33
18.§	Maksvell taqsimoti	33
19.§	Maksvell-Bolsman taqsimoti	36
20.§	Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi to`g`risida tushincha	36
III-Bob. Issiqlikning kinetik nazariyasi. Energiyaning saqlanish qonuni		40
21.§	Ideal gazning ichki energiyasi	40
22.§	Energiyani erkinlik darajalari bo`yicha teng taqsimoti	40
23.§	Ish va issiqlik miqdori	41
24.§	Termodinamikaning birinchi bosh qonuni	42
25.§	Ideal gaz hajmining izobarik va izotermik o`zgarishida bajarilgan ish	43
26.§	Ideal gazlarning issiqlik sig`imlari	44
27.§	Ideal gazlar issiqlik sig`imlari klassik nazariyasining yetarli emasligi. Kvant nazariyasi haqida tushuncha	45
28.§	Adiabatik jarayon. Puasson tenglamasi	47
29.§	Politropik jarayon	48
IV-Bob. Gazlarda ko`chish xodisalari		52
30.§	Molekulyar harakatlar va ko`chish hodisalari	52
31.§	Molekulalarning o`rtacha erkin yugurish yo`li	53
32.§	Diffuziya va modda ko`chishi	54
33.§	Stasionar diffuziya. Diffuziya koeffitsiyentini hisoblash	55
34.§	Gazlarning qovushoqligi. Qovushoqlik koeffisiyentini hisoblash	57
35.§	Gazlarning issiqlik o`tkazuvchanligi. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblash	58

V-Bob. Termodinamika elementlari		63
36.§	Jarayonlar. Muvozanatli va muvozanatsiz jarayonlar	63
37.§	Qaytar va qaytmas jarayonlar	65
38.§	Issiqlik mashinalari. Siklik jarayonlar	66
39.§	Karno sikli	68
40.§	Entropiya	70
41.§	Berk sistemada qaytar va qaymas jarayonlarda entropiya	72
42.§	Entropiya va ehtimollik	74
43.§	Entropiya va tartibsizlik	76
44.§	Temperaturaning termodinamik shkalasi	77
VI-Bob. Real gazlar		81
45.§	Molekulalar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari	81
46.§	Eksperimental izotermalar	82
47.§	Van-der-Vaals tenglamasi	83
48.§	Van-der-Vaals izotermalari	86
49.§	Van-der-Vaalsning keltirilgan tenglamasi	87
50.§	Gaz holatdan suyuq holatga o`tish	88
51.§	Real gazning ichki energiyasi	88
52.§	Joul Tomson effekti	89
VII-Bob. Suyuqlikning xossalari		93
53.§	Suyuqlikning tuzilishi	93
54.§	Sirt taranglik	93
55.§	Ikki muhit chegarasidagi muvozanat shartlari	95
56.§	Suyuqlikning egri sirtida yuzaga keluvchi bosim	96
57.§	Suyuqlikning bug`lanishi va qaynashi	98
58.§	Suyuq eritmalar	99
59.§	Osmotik bosim	101
VIII-Bob. Qattiq jismlarning xossalari		104
60.§	Qattiq jismlar	104
61.§	Kristall panjaralar	105
62.§	Kristallografik koordinata tizimi	107
63.§	Qattiq jismlarda issiqlik harakati va qattiq jismlarning issiqlik sig`imi	108
64.§	Qattiq jismlarning erishi va sublimasiyasi	110
65.§	Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o`tishlar	111

KIRISH

Molekulyar-kinetik nazariyaning tajriba ma`lumotlaridan kelib chiqadigan asosiy tasavvurlari quyidagilardan iborat: barcha moddalar juda mayda zarrachalardan-**atom va molekulalardan** tashkil topgan bo`lib, ular bir-biri bilan o`zaro ta`sirda va uzluksiz tartibsiz harakatda (**issiqlik harakatida**) bo`ladilar.

Atom va molekulalarning o`lchamlari nihoyatda kichik bo`lib, taqriban 10^{-8}sm tartibidadir. Ayni vaqtda moddani tashkil qilgan zarralar soni haddan tashqari ko`p. Masalan, 1 g suvda 3,3 10^{22} ta molekula bor.

Eng birinchi atomistik gipoteza grek faylasufi Demokrit (eramizdan avvalgi IV asr) tomonidan o`rtaga tashlangan bo`lib, uning bu ta`limoti insoniyatning buyuk daholaridan biri Aristotelning ijodida yana ham rivojlantirilib, atomlarning ham bo`linishi mumkinligi haqidagi g`oya bilan takomillashdi. Demokrit va Aristotelning bu qarashlari O`rta Osiyo xalqlarining buyuk mutafakkirlaridan bo`lmish Ar-Roziy, Beruniy va Ibn Sinolarning (X-XI asr) ijodida ham o`zining haqiqiy ifodasini topdi. Masalan Ar-Roziy atomning bo`linishi haqidagi Aristotel fikrini tasdiqlash bilan birga, atomni tashkil qilgan bo`lakchalar orasida bo`shliq mavjud bo`lib, bu bo`lakchalar doimo harakatda va ularning orasida o`zaro ta`sir kuchlari mavjud deb hisoblagan. Fizika asoslari yaratilgunga qadar Demokrit nazariyasiga ko`pchilik shubha bilan qarab kelgan - XVII asrda fizika asoslarining yaratilishi atomistik g`oya tarafdorlarining ko`payishiga olib keldi. I. Nyoton keyinchalik o`z tasdig`ini topgan molekulalararo kuchlar va kristall panjara haqidagi g`oyani ilgari surdi. M. Lomonosov (XVIII asr) molekulalarning aylanma harakati va eng past temperatura mavjudligi haqidagi fikrni ilgari surdi. Molekulyar-kinetik nazariyaning hozirgi manzarasi XIX asrda Klauzius, Maksvell, Boltsman va boshqalar tomonidan yaratildi. XVIII asr oxiri va XIX asr boshlarida Gey-Lyussak, Dalton, Avogadro tomonidan tajriba yo`li bilan gaz qonunlari ochildi.

Molekulyar harakatlar mavjudligini tasdiqlovchi ilk hodisalar Broun harakati va diffuziya hodisasidir. Hozirda elektron mikroskop yordamida yirik organik molekulalarning fotosuratlari olingan. Bundan tashqari molekulyar kinetik tasavvurlarni tasdiqlovchi yana boshqa ko`pdan-ko`p tajriba ma`lumotlarini ham keltirish mumkin. Masalan, rentgenostrukturaviy analiz usuli bilan deyarli barcha qattiq jismlarning tuzilishi va ularni tashkil qilgan zarrachalar orasidagi masofalar to`g`risidagi ma`lumotlar to`plangan.

Molekulyar fizika va termodinamikaning mavzui bir xil bo`lib, bu ikki fan jismlar tarkibidagi ulkan miqdordagi atomlar yoki molekulalar harakati bilan bog`liq bo`lgan hodisalarni o`rganadi. Biroq fizikaning bu bo`limlari bir-biridan o`rganilayotgan hodisalarga turlicha yon-doshishi bilan farq qiladi.

Molekulyar fizika tajriba va nazariyani doimiy birga olib boradi. Bunda u moddaning atom-molekulyar tuzilishi haqidagi tasavvurlarga tayanadi va issiqlikni atom va molekulalarning tartibsiz harakati deb qaraydi. Hodisalarni yoritib beruvchi qonuniyatlar tajribalarga asoslanib farazlar yordami bilan topiladi: bu qonuniyatlarni tushuntirishning oddiy modelli yo`llari o`ylab topildi; avval topilgan qonuniyatlarni oydinlashtirish va yangi ma`lumotlar olish uchun yangi tajribalar rejalashtiriladi.

Termodinamika XIX asrning birinchi yarmida issiqlik texnikasi tomonidan fizika oldiga talablar qo`yish natijasida issiqlik texnikasining nazariy asosi sifatida vujudga keldi. Termodinamika moddaning tuzilishi haqida hech qanday gipotezalar va konkret tasavvurlar kiritmaydi. U issiqlikni biror ichki harakat deb qaraydi, biroq uning tabiatini oydinlashtirishga urinmaydi. Uning xulosalari tajriba dalillaridan kelib chiqqan eng umumiy qonunlarga asoslangan. Bu qonunlar termodinamikaning bosh qonunlari deb ataladi. Bu qonunlarni turli jarayonlarga qo`llash va mantiqiy xulosalar chiqarish yo`li bilan moddalarning xossalarini oydinlashtirib beruvchi yangi qonuniyatlar topiladi.

Termodinamika sistemaning muvozanat holatini, birin-ketin keladigan muvozanatli jarayonlarni va sistemaning termodinamik muvozanat holatiga o`tishning umumiy qonuniyatlarini o`rganadi. Molekulyar fizika esa jismlarning muvozanat holatlarinigina emas, balki jismlarda chekli tezliklar bilan o`tadigan jarayonlarni ham o`rganadi.

I BOB. MODDA XOSSALARINI O`RGANISHDAGI MODELLAR VA USULLAR

1§. MODDA XOSSALARINI O`RGANISHDAGI "MODELLAR"

Molekulyar fizikani o`rganishda qo`llaniladigan modellar haqida tegishli mavzularni bayon qilishda kengroq ma`lumot berib o`tilsada, biz quyida bu modellar ustida qisqacha to`xtalib o`tamiz.

Tabiatning to`la analiz qilib bo`lmaydigan murakkab hodisalarini o`rganishda, ularning xossalari tajribada kuzatiladigan faktlarga taxminan mos keladigan soddaroq obrazi yaratiladi. Bu obraz "model" deyiladi. Fizikada ana shunday modellarsiz ish ko`rib bo`lmaydi. Model hamma vaqt ham mukammal bo`lavermaydi, shuning uchun olingan natijalar va xulosalar ham to`la darajada aniq bo`lavermaydi. Modelni yaxshilash yo`li bilan olinadigan natijalar aniqligini oshirish mumkin. Modellardan foydalanish nazariyani matematik jihatdan soddalashtirishga imkon beradi.

Ko`rilishi kerak bo`lgan masalaga qarab molekulyar fizikada quyidagi modellar ishlatiladi: siyraklashgan gazlar holatini o`rganishda gaz molekulasi moddiy nuqta deb tassavvur qilinadi; ideal gazlarning issiqliq sig`imini hisoblashda gaz molekulasining modeli sifatida moddiy nuqta (bir atomli gaz uchun) yoki bir-biri bilan qattiq bog`langan moddiy nuqtalar olinadi (ikki va ko`p atomli gazlar uchun); gazlarning to`qnashuvlari bilan bog`liq masalalarni o`rganishda gaz molekulalari ideal qattiq sharlar sifatida tasavvur qilinadi va ular bir-biri bilan markaziy kuchlar orqali o`zaro ta`sir qiladi deb hisoblanadi.

Atom-yadro va uning atrofidagi elektron qobiqdan iborat bo`lgan murakkab sistemadir. Atom va molekulalar bo`ysunadigan qonunlar kvant mexanikasi qonunlaridir. Atom va molekula haqidagi tajriba ma`lumotlarida tasdiqlangan kvant mexanikasi tasavvurlari shundan iboratki, bu zarralarning ichki holatini xarakterlovchi kattaliklar (masalan, energiya va impulñ) ixtiyoriy emas, faqat chekli ya`ni diskret qiymatlar qabul qiladi. Shu sababli klassik mexanika asosida qurilgan molekulyar fizika eksperimental dalillarning barchasini tushuntirib bera olmaydi. Chunki, atom va molekulalarning kvant tabiati ba`zi hollarda albatta

namoyon bo`ladi, masalan, jismlarning issiqlik sig`imi masalalarida yoki absalyut nol temperatura yaqinidagi hodisalarda shunday bo`ladi.

Klassik fizika modellarini qo`llash sohalarining cheklangan bo`lishiga qaramay Nyuton mexanikasi asosida qurilgan molekulyar - kinetik nazariya katta yutuqlarga erishdi. Bunga sabab, birinchidan, nazariyaning Nyuton mexanikasining umumiy prinsiplari asosida yaratilganligi bo`lsa, (kvant sistemalar uchun ham o`rinli bo`lgan energiya va impulsning saqlanish qonuni), ikkinchidan, makroskopik hodisalarning keng doirasi atomlar tuzilishining detallari va ularni boshqaruvchi qonunlar bilan emas, balki makroskopik sistemalardagi atom va molekulalarning haddan tashqari ko`p ekanligi bilan xarakterlanadi. Bundan tashqari matematik usullar keng qo`llanildi. Yana shu narsa ham diqqatga sazovarki, nazariya hamma vaqt tajribalarning natijalari asosida rivojlantirib borildi.

2§. FIZIKADA DINAMIK VA STATISTIK USUL

Ma`lumki, mexanik sistemaning oniy holati uni tashkil qilgan barcha jismlarning tezliklari va koordinatalari bilan aniqlanadi. Molekulyar sistemalarning bunday batafsil tavsiflanadigan holati **dinamik yoki mikroskopik** holati deb ataladi. Molekulyar fizika ulkan sondagi zarrachalarning harakati va ta`siri bilan bog`liq bo`lgan hodisalarni o`rganadi. Shu sababli molekulyar sistemaning holatini bunday batafsil tavsiflashning hech bir iloji ham yo`q va bunga hojat ham yo`q.

Molekulyar fizika qonunlarining mexanika qonunlaridan farqi shundaki, ular statistik ma`noga ega bo`lgan qonunlardir. Shu sababli molekulyar fizika masalalarini hal qilishda asosan statistik fizika usullari qo`llaniladi.

Statistik fizikada konkret molekulyar model tasavvur qilinadi va unga mexanikaning aniq qonunlari hamda ehtimollar nazariyasi qo`llanilib, sistemaning xossalarini xarakterlovchi u yoki bu ma`lumot olinadi. Masalan, gazlar nazariyasida har bir molekula harakati mexanika qonunlari asosida ro`y beradi deb hisoblab, ehtimollar nazariyasi asosida gaz holati va ko`chish hodisalarining qonuniyatlari keltirib chiqariladi.

Molekulyar sistemaga kiruvchi har bir zarrachaning harakati turli sabablarga bog`liq bo`lib, bu harakatlar mexanika qonunlari asosida ro`y beradi.Ammo, zarraning harakat yo`nalishi, uning boshqa molekulalar va idish devorlari bilan to`qnashuvi natijasida qisqa vaqt ichida shunchalik ko`p o`zgaradiki, natijada uning oniy holati boshlang`ich shartlarga bog`liq bo`lmay qoladi. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, statistik qonuniyatlar dinamik qonuniyatlar kabi boshlang`ich shartlarga bog`liq emas. Agar idishga biror miqdor gaz kiritsak, u holda muvozanat qaror topgandan keyin idishdagi gazning bosimi gaz molekulalarining boshlang`ich tezliklari va harakat yo`nalishlariga bog`liq bo`lmaydi. Ulkan sondagi zarrachalar ichidan bittasini tanlab olib, uning harakatini kuzatib bo`lmaydi. Biz faqat moddani tashkil qilgan zarralarning kollektiv harakati bilan bog`liq bo`lgan hodisalarnigina kuzata olamiz.

Shunday qilib **statistik usul** juda ko`p alohida (individual), bir-biriga o`xshash va bir-biridan **mustaqil bo`lgan hodisalar to`plamiga tegishli bo`lgan,**

umumiy hodisalarni o`rganish uchun qo`llaniladi. Masalan, umumiy hodisaga misol qilib gazning bosimini olishimiz mumkin; har bir molekulaning idish devorlariga ko`rsatadigan ta`sirini esa, individual hodisa deb qarasa bo`ladi.

3§. EHTIMOLLAR NAZARIYASIDAN ELEMENTAR MA`LUMOTLAR

Kelgusida biz asosan statistik harakterga ega bo`lgan qonuniyatlar va kattaliklar bilan ish ko`ramiz. Statistik qonuniyatlar tasodifiy voqealar va hodisalar to`plamiga tegishli qonuniyatlar bo`lganligi uchun, bu qonuniyatlarni sof matematik jihatdan ehtimollar nazariyasi o`rganadi. Shu sabali biz quyida kelgusi bayonimiz uchun zarur bo`lgan darajada ehtimollar nazariyasidan elementar ma`lumotlar berib o`tamiz.

Ehtimollar nazariyasida amalga oshishi haqida oldindan aniq bir fikr aytib bo`lmaydigan voqealarga **tasodifiy voqealar** deb ataladi. Biror bir voqeaning ro`y berishiga sabab bo`ladigan tajriba yoki shart - sharoitlar to`plamiga ehtimollar nazariyasida **sinash** deb ataladi.

Tasodifiy voqeaning **ehtimolligi** uning ro`y berish imkoniyatining miqdoriy o`lchovidir. Tasodifiy voqeaning ehtimolligi shu voqeani amalga oshirish bilan bog`liq bo`lgan sinashlar yordamida topilishi mumkin.

Avval ehtimollikni teng imkoniyatli voqealar uchun kiritaylik. Xo`sh, qanday voqealar teng imkoniyatli voqealar bo`la oladi. Agar sinashlarda tasodifiy voqealardan birining boshqalaridan ko`proq ro`y berishiga hech qanday asos bo`lmasa, bu voqealar teng imkoniyatli yoki teng ehtimolli voqealar deb ataladi. Masalan, tanga tashlashda gerbli yoki raqamli tomonning tushishi teng ehtimolli voqeadir.

Teng imkoniyatli biror voqeaning ehtimolligi, shu voqea uchun qulay bo`lgan teng imkoniyatli voqealar sonining sinashlarda uchrashi mumkin bo`lgan barcha teng imkoniyatli hollar soniga nisbatiga teng. Masalan, yuqoridagi tanga tashlash misolidagi tanganing gerbli yoki raqamli tomonining tushish ehtimolligi 1/2 ga teng. Chunki, teng imkonli hollar soni 2 ta, har bir voqea amalga oshishi mumkin bo`lgan hollar soni esa bittadan.

Umumiy holda ehtimollik quyidagicha ta`riflanadi: Biror voqeaning ro`y berish ehtimolligi sinashlarda shu voqea amalga oshadigan hollar soni N_1 ning sinashlar soni N ga nisbatining sinashlar soni cheksizlikka intilgandagi limitiga teng bo`ladi:

$$P = \lim_{N \to \infty} \frac{N_1}{N} \quad (1)$$

Yana tanga tashlash bilan bog`liq misolga qaytadigan bo`lsak, tangani juda ko`p marta tashlab, uning deyarli yarmiga teng bo`lgan hollarda gerbli tomoni bilan tushishiga, ya`ni P=1/2 bo`lishiga ishonch hosil qilish mumkin.

**Ehtimolliklarni qo`shish teoremasi.** Agar $P_1$, $P_2$, $P_3$, va h. k. bir - birini istisno qiluvchi bir necha voqeaning ehtimolligi bo`lsa, u holda bu voqealardan birortasining (qaysi biri bo`lishi farqsiz) amalga oshish ehtimolligi bu voqealarning ehtimolliklari yig`indisiga teng bo`ladi:

$$P = P_1 + P_2 + ... + P_n \quad (2)$$

Misol. Yashikda bir-biridan faqat rangi bilan farq qiluvchi 100 ta shar yaxshilab aralashtirilgan: ulardan 30 tasi oq, 25 tasi qizil va 45 tasi ko`k rangda bo`lsin.

Yashikdan qo`l tiqib rangli sharni olish ehtimolligi qanday Qizil sharni olish ehtimoligi $P_1 = 25/100$, ko`k sharni olish ehtimolligi $P_2 = 45/100$, rangli sharni olish ehtimolligi $P = P_1 + P_2 = 7/10$

**Ehtimolliklarni ko`paytirish teoremasi.** Agar $P_1$, $P_2$, $P_3$, va h. k.- mustaqil vaqealarning ro`y berish ehtimolliklari bo`lsa, u holda bu voqealarning birgalikda yoki birin-ketin ro`y berish ehtimolligi ulardan har birining ehtimolliklari ko`paytmasiga teng:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_n \qquad (3)$$

Masalan, qirralari 1, 2, 3, 4, 5, 6 raqamlari bilan nomerlangan o`yin soqqasi tashlanyapti deylik. O`yinda bu raqamli qirralarning chiqish ehtimolliklari teng bo`lib, 1 6 ga teng. Soqqa tashlashda ketma-ket 5 va 6 raqamli qirralarning chiqish ehtimolligi P = 1/36 bo`ladi.

**Ehtimollik va kattaliklarning o`rtacha qiymati** ehtimollar nazariyasining tadbiqlaridan biri bu o`zgarib turuvchi kattaliklarning o`rtacha qiymatlarini hisoblashdir (masalan, bitta molekulaning ilgarlama harakati o`rtacha energiyasini va o`rtacha tezligini hisoblash). O`rtacha qiymat tushunchasi bilan ehtimollik orasida bog`lanishni konkret misolda tushuntiraylik. Sistemaga tegishli biror $a$ kattalik N marta o`lchandi, deylik. Bunda N ta o`lchashdan $N_1$ tasida $a$ kattalikning o`lchangan qiymati a_1, N_2 holda esa a_2 qiymatga teng va hakozo. O`lchangan kattalikning o`rtacha arifmetik qiymati quyidagiga teng bo`ladi:

$$\bar{a} = \frac{N_1 a_1 + N_2 a_2 + \cdots + N_n a_n}{N} = \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i}{N} a_i \qquad (4)$$

O`lchashlar soni N yetarli darajada ko`p bo`lsa, Ni /N deyarli $a$ qiymatning $a_i$ ga teng bo`lish ehtimolligiga teng bo`ladi. Demak, $a$ kattalikning o`rtacha qiymati uning alohida qiymatlari a_1, a_2, a_3,$^{\cdots}$, a_n larning tegishli ehtimolliklariga ko`paytmasining yig`indisiga teng:

$$\bar{a} = \sum_{i=1}^{n} P_i a_i \qquad (5)$$

4§. TAQSIMOT FUNKSIYASI

Yuqorida biz ehtimollik tushunchasini turli voqealar (yoki kattaliklar) to`plami chekli sonda bo`lgan hollarga nisbatan tatbiqi bilan tanishdik. Biroq shunday tasodifiy kattaliklar borki, ular biror sohadagi har qanday qiymatlarni qabul qila olishi mumkin. Bunday kattaliklar uzluksiz o`zgaruvchi kattaliklar deyiladi. Tasodifiy kattaliklarning qabul qila olishi mumkin bo`lgan qiymatlari cheksiz ko`p bo`lganligi uchun, uning aniq bir qiymatni qabul qilish ehtimolligini topib bo`lmaydi. Bunday hollarda masala tasodifiy kattalikni ma`lum bir intervaldagi qiymatlarni qabul qilish ehtimolligini aniqlashga olib kelinadi. Masalan, o`lchanayotgan kattalikning o`lchash natijasida olingan son qiymatining a dan $a + da$ gacha chagarada bo`lish ehtimolligi dP ni kiritish mumkin. Bu ehtimollikning qiymati da interval kengligiga proporsional, ya`ni

$$dP = f(a)da \quad (1)$$

bundagi $f(a)$-proporsionallik koeffitsiyenti, umuman olganda a kattalikka bog`liqdir. $f(a)$ funksiya taqsimot zichligi deyiladi. Statistik fizikada u ko`pincha taqsimot funksiyasi deb ham ataladi. Taqsimot funksiyasi son jihatdan

o`lchanayotgan tasodifiy kattalikning $a$ dan $a$ +1 gacha bo`lgan chegaradagi qiymatlarni qabul qilish ehtimolligiga teng.

Taqsimot funksiyasini bilish orqali tasodifiy a kattalikning biror intervadagi qiymatlarni qabul qilish ehtimolligini topish mumkin. Bu funksiya quyidagi hossalarga ega: u musbat kattalik; agar a kattalik chekli b bilan s oraliqda o`zgarsa, $a$ ning o`zgarish sohasidan tashqarida taqsimot funksiyasi nolga teng va

$$\int_b^c f(a)da = 1 \qquad (2)$$

bo`ladi; asosiy masala, ya`ni kattalik qiymatining biror (α,β) intervalda bo`lish ehtimolligi quyidagi ifoda yorda-mida hal qilinadi:

$$P(a < a < b) = \int_a^b f(a)da \qquad (3)$$

Bundan tashqari, taqsimot funksiyasini bilish orqali a tasodifiy kattalikning o`lchangan qiymatlaridan nechtasi kichik $(a, a + da)$ intervalda yoki chekli (α,β) intervalda yotishini topish mumkin. Ehtimollik ta`rifidan

$$dP = \frac{dN}{N} = f(a)\,da \quad (4)$$

bo`lganligi uchun

$$dN = Nf(a)da \qquad (5)$$

va

$$N(a, b) = \int_a^b Nf(a)\,dN \qquad (6)$$

bo`ladi. Bundagi N - a kattalikning barcha qiymatlari soni.

O`rtacha qiymat ta`rifiga binoan a kattalikning o`rtacha arifmetik qiymati esa quyidagiga teng bo`ladi:

$$\bar{a} = \frac{1}{N}\int_{-\infty}^{\infty} a\,dN = \int_{-\infty}^{\infty} a\,f(a)\,da \qquad (7)$$

Odatda a ning o`zgarish sohasidan tashqarida $f(a)$ nolga teng bo`lsada, barcha hollarda integrallash chegarasi sifatida - ∞ va +∞ olinadi.

Quyida taqsimot funqsiyasiga misol tariqasida Gauss taqsimoti bilan qisqacha tanishib o`tamiz.

5§. GAUSS TAQSIMOTI

Turli-tuman o`lchashlarda uchraydigan tasodifiy hatoliklar Gauss taqsimotiga bo`ysunadi va bu taqsimotdan ko`pgina fizik masalalarni ko`rib chiqishda tez-tez foydalanib turiladi. Gauss taqsimotining matematik ifodasi quyidagi ko`rinishda:

$$P(x) = \frac{1}{s\sqrt{2p}}\,\mathbf{l}^{-\frac{(x-a)^2}{2s^2}} \qquad (1)$$

Bundagi a -tasodifiy kattalik, x ning o`rtacha arifmetik qiymati. $\sigma^2$ - esa bu taqsimotning dispersiyasi bo`lib, u quyidagicha topiladi:

$$P(x) = \frac{1}{s\sqrt{2p}}\,\mathbf{l}^{-\frac{(x-a)^2}{2s^2}} \qquad (2)$$

σ- parametr o`rtacha kvadratik chetlashish deyiladi. Agar $a$ o`rtacha qiymat nolga teng bo`lsa, (1) ifoda standart normal taqsimot ko`rinishini oladi. (σ =1):

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \mathbf{l}^{-\frac{x^2}{2}} \qquad (3)$$

Uning qiymatlarini turli x lar uchun jadvaldan olsa bo`ladi. Umuman (1) formulada P(x)σ=y va Z=(x-$a$)/σ o`zgartirish kiritib, uni standart taqsimotga keltirish mumkin.

6§. TIZIMNING MIKROSKOPIK VA MAKROSKOPIK HOLATI

Idishda N ta molekuladan tashkil topgan tizimni (sistemani) ko`rib chiqaylik. Birinchidan, bunday sistema statistik bo`lib, undagi har bir zarrachaning holati boshlang`ich shartlarga bog`liq emas; ikkinchidan ularning holatini belgilovchi parametrlar (masalan, tezlik) uzluksiz o`zgaruvchi kattaliklar bo`lgani uchun, ehtimollar nazariyasiga ko`ra har bir molekulaning holatini aniq ko`rsatib bo`lmaydi. Chunki, bunday holatlarning ehtimolligi nolãa teng. Statistik fizikada har bir holatga noldan farqli ehtimollik berish uchun gaz hajmi v juda kichik $v_1$, $v_2$, $v_3$,. . . $v_m$ , hajmli yacheykalarga bo`linadi va gaz molekulasining qaysi hajm yacheykasida ekanligi ko`rsatilgan bo`lsa, uning holati ma`lum deb hisoblanadi. Bunday yo`l bilan aniqlanadigan, ya`ni har bir gaz molekulasining qaysi yacheykada ekanligini ko`rsatish bilan aniqlanadigan gaz holatiga **mikroholat** deb ataladi. Bunda gaz molekulalarining holati va gazning mikroholati molekulalarning bir yacheykadan boshqasiga o`tgandagina o`zgaradi deb hisoblanadi.

Termodinamikada mikroskopik tizimlarning holati o`rtacha qiymat ma`nosiga ega bo`lgan, sistemani butunicha harakterlovchi va makroskopik o`lchovlar vositasida aniqlanishi mumkin bo`lgan bir nechta parametr yordamida tavsiflanishi mumkin. Bu parametrlarga, masalan, gazning bosimi, zichligi, temperaturasi va hajmi kiradi. Bu parametrlar **makroskopik parametrlar** deb ataladi. Sistemaning makroskopik parametrlar vositasida tavsiflanadigan holatiga **makroskopik holat** deb ataladi.

Sistemaning mikro holatlari va unga bog`liq ravishda uning makroholatlari u yoki bu ehtimollik bilan amalga oshadi. Qisqacha bo`lsada bu holatlarning ehtimolligi qay yo`sinda hisoblanishini ko`rib o`taylik. Buning uchun yana yuqorida eslatib o`tilgan, v hajmli idishda joylashgan, N ta molekuladan tashkil topgan gaz holatini aniqlash bilan bog`liq bo`lgan masalaga qaytaylik. Molekulalarni bir-biridan farqlash uchun ular 1 dan N gacha nomerlangan deb hisoblaylik. Ravshanki, biror molekulaning i-hajm yachaykasida bo`lish ehtimolligi $P_i = \frac{V_i}{V}$ bo`ladi. U vaqtda 1-yacheykada muayyan nomerli N_1 ta, 2 -sida N_2 ta molekula va hakozo bo`lgan mikroholatning matematik ehtimolligi ehtimolliklarni ko`paytirish teoremasiga asosan

$$P_M = P_1^{N_1} \cdot P_2^{N_2} \cdots P_m^{N_m} \qquad (1)$$

ga teng bo`ladi.

Agar yacheykalardagi molekulalar sonini o`zgartirmagan holda molekulalar o`rni almashsa, sistemaning mikroholati o`zgaradi, lekin uning makroholati

o`zgarmaydi. 1-, 2-,. .. , m- yacheykalarda mos ravishda $N_1$, $N_2$, $N_3$, .. . $N_m$ ga teng molekula bo`ladigan makroholat teng ehtimolli

$$G = \frac{N}{N_1 \cdot N_2 \cdots N_M} \qquad (2)$$

ta mikroholatlar orqali amalga oshirilishi mumkin. Shuning uchun sistemaning yuqorida bayon qilingan makroholatning ehtimolligi

$$P = GP_M \qquad (3)$$

ga teng bo`ladi. Yacheykalar hajmi birday bo`lsa,

$$P = G\left(\frac{V_1}{V}\right)^N \qquad (4)$$

bo`ladi. Formuladagi G ko`paytuvchi doimiy bo`lganligi uchun makroholatning ehtimolligi uchun G kattalikni o`zini ham olish mumkin. Odatda bu kattalik birdan katta va uni matematik ehtimollikdan farqlash uchun sistemaning **termodinamik ehtimolligi** deb ham atashadi. Statistik fizikada bu kattalik ko`rilayotgan makroholatning statistik og`irligi (vazni) deyiladi. Ravshanki, eng katta ehtimolli holat barcha yacheykalarda molekulalar zichligi bir xil bo`lgan holat. Demak, bunday makroholatning statistik vazni ham maksimal bo`lishi kerak. Buni quyida soddaroq misolda, gaz hajmi ikkita yacheykadan iborat bo`lgan hol uchun ko`rib chiqaylik.

7§. BINOMAL TAQSIMOT

Faraz qilaylik gazning hajmi V ikkita -V_1 va V_2 yacheykadan iborat bo`lsin. Agar barcha molekulalar soni n ta bo`lsa, u holda yacheykalardan birida k ta va ikkinchisida (n-k) ta molekula bo`ladigan holatning ehtimolligi

$$P_k = \frac{n}{k(n-k)} p^k q^{n-k} \qquad (1)$$

bo`ladi. P - biror molekulaning $V_1$ yacheykada bo`lish ehtimolligi, q esa uning bu yacheykada paydo bo`lmaslik yoki $V_2$ yacheykada bo`lish ehtimolligi. Ravshanki,

$$p + q = 1 \qquad (2)$$

(2) -ni n - darajaga oshirib, hadlarga yoyib quyidagini olamiz:

$$(q+p)^n = \sum_{k=0}^{n} \frac{n}{k(n-k)} p^k q^{n-k} \qquad (3)$$

Bu yig`indi hadlari (1) ko`rinishidagi taqsimotning o`zginasi bo`lganligi uchun (1) ni binomal taqsimot deb ham atashadi. R_k ning qiymati k= np bo`lganda maksimal bo`ladi. Bunday holatda gazning zichligi ikkala yacheykada bir xil bo`ladi. Bunga ishonch hosil qilish uchun $V_1$ $V_2$ va n=4 bo`lgan hol uchun statistik vaznlarni hisoblaylik. Bunda quyidagi: 1-yacheykada 0,1,2,3 va 4 ta molekula bo`lgan holatlar uchrashi mumkin. Bunday holatlar sonini quyida jadval qurinishida ifodaylik:

K	0	1	2	3	4
G	1	4	6	4	1

Jadvaldan ko`rinadiki, har bir yacheykada bir xil sondagi molekulalar bo`ladigan holatning ehtimolligi maksimal bo`lar ekan.

Binomal taqsimotning qo`llanish sohasi biz yuqorida ko`rib o`tgan misol bilangina cheklanmaydi. Bu taqsimot sinashlar soni n ta bo`lganda ulardan k tasida kutilgan tasodifiy voqeaning ro`y berish ehtimolligini hisoblab topishga imkon beradi. (1) ifodaga faktoriallar kirgan bo`lib, undan amalda foydalana olish noqulaylik tug`diradi. Shuning uchun faktoriallarni hisoblashda Stirling formulasi

$$m = \sqrt{2p\ m}\, m^m e^{-m} \qquad (4)$$

dan foydalanib, (1) ifodani foydalanishga qulay bo`lgan ko`rinishga keltirish mumkin. Bunday almashtirish p ning 0 ga va 1 ga yaqin bo`lmagan qiymatlari uchun quyidagini beradi:

$$P_k = \frac{1}{\sqrt{npq}} \frac{1}{\sqrt{2p}} e^{-\frac{(k-np)}{2npq}} \qquad (5)$$

bu Gauss taqsimotidir. k o`rniga tasodifiy Z kattalikni kiritib:

$$Z = \frac{k - np}{\sqrt{npq}} \qquad (6)$$

(5) ni soddaroq ko`rinishga keltirish va jadval ma`lumotlaridan

$$\frac{1}{\sqrt{2p}} e^{-\frac{z^2}{2}} \qquad (7)$$

ning qiymatlarini olib, uni osonroq hisoblash mumkin.

P_k ning ifodasini P juda kichik va 1 ga yaqin bo`lgan hollar uchun ham ishlatishga qulayroq bo`lgan ko`rinishga keltirish mumkin. Bunday hollar uchun (1) ifoda quyidagi ko`rinishni oladi

$$P_k = \frac{(np)^k e^{-np}}{k} \qquad (8)$$

Bu taqsimot Puasson taqsimoti deyiladi. Puasson taqsimoti ko`pincha kamdan - kam uchraydigan voqealar uchun qo`llaniladi va u o`z ma`nosiga ko`ra biror hajmda yoki vaqt oralig`ida o`rtacha $np$ marta ro`y beradigan voqeaning k marta uchrash ehtimolligini ifodalaydi.

8§. FLUKTUATSIYALAR

Sistema holatini harakterlovchi makroskopik parametrlarning, shuningdek, har qanday fizik kattaliklarning o`zlarining o`rtacha qiymatlaridan chetlashishlari **fluktuasiyalar** deyiladi. Gazlarda ro`y beradigan fluktuasiyalarning asosiy sababi issiqlik harakatidir.

Issiqlik harakati tufayli gazning ixtiyoriy bir hajmida ajratib olingan molekulalar vaqt o`tishi bilan bu hajmni tark eta boshlaydi. Shu bilan birga bu hajm qurshab olgan sohadan bu hajmga boshqa molekulalar kirib keladi. Lekin kichik $\Delta t$ vaqt ichida bu hajmni tark etayotgan va kirib kelayotgan molekulalar soni bir-biriga teng bo`lmaydi. Shu sababli bu hajmdagi molekulalar soni o`zining o`rtacha qiymati N atrofida o`zgarib turadi.

Nisbatan katta fluktuasiyalar kam sondagi molekulalardan tashkil topgan sistemalarda uchraydi. Agar muvozanat holatida bo`lgan sistemada molekulalar soni juda ko`p bo`lsa, fluktuasiyalar ham kichik bo`ladi va katta fluktuasiyalar amalda uchramaydi.

Fluktuasiyaning miqdoriy o`lchovi sifatida o`rtacha kvadratik chetlashishni yoki nisbiy fluktuasiyani olish mumkin. Nisbiy fluktuasiya son jihatdan berilgan hajmdagi gaz molekulalari soni o`rtacha kvadratik chetlashishini shu hajmdagi molekulalarning o`rtacha soniga nisbatiga teng:

$$d = \frac{\sqrt{\Delta \overline{N}^2}}{\overline{N}} \qquad (1)$$

N ning katta qiymatlari uchun nisbiy fluktuasiya quyidagi ifoda yordamida hisoblab topilishi mumkin:

$$d = \sqrt{\frac{2}{p}\ \frac{1}{N}} \qquad (2)$$

Bu formulani sifat jihatidan analiz qilish katta hajmlarda (N katta) fluktuasiya juda kichik bo`lishini va kuzatilayotgan hajm kichiklashib borgan sari (N kamayadi) molekulalarning fluktuasiyalari ortib borishini ko`rsatadi. Masalan, normal sharoitlarda 10^{-16} sm^3 tartibdagi hajmda 1% atrofidagi fluktuasiya 10^{-18} sm^3 tartibdagi hajmlarda esa 10% atrofidagi fluktuasiyalar ro`y beradi.

Kontrol savollar

1. Atom va molekula nima?
2. Nisbiy molekulyar massa va molyar massa nima?
3. Qanday hollarda moddiy nuqta modeli yoki elastik sharlar modeli ishlatiladi?
4. Statistik usulning mohiyati nimadan iborat?
5. Makroskopik tizimlarning eng xarakterli tomoni nimadan iborat?
6. Qanday hodisaga tasodifiy hodisa deyiladi?
7. Sinish va ehtimollik nima?
8. Taqsimot funksiyasining ma`nosi nimadan iborat?
9. Tizimning qanday holatiga mikroskopik yoki makroskopik holat deyiladi?
10. Sistema holatining statistik vazni nima?
11. Sistema holatining termodinamik ehtimolligi nima?
12. Sistema holatining termodinamik va matematik ehtimolligi o`zaro qanday bog`langan?
13. Fluktuasiya nima va u qanday aniqlanadi?

Masalalar

1-masala. Yashikda 100 ta bir xil sharlar bo`lib, ulardan 40 tasi oq va 60 tasi qoradir. Sharlar yaxshilab aralashtirilgan. Yashikdan qo`l tiqib oq shar olish ehtimoligi qanday? Qora shar olish ehtimolligichi? Javobi: 0,4 va 0,6

2-masala. Yashikda faqat rangi bilan farq qiluvchi yaxshilab aralashtirilgan, 30 ta oq, 20 ta qizil va 50 ta ko`k sharlar yotibdi. Yashikdan qo`l tiqib rangli sharni olish ehtimolligi nimaga teng? Javobi: 0,7

3-masala. Yashikda A, V, S va D lar bilan belgilangan to`rtta shar yotibdi. Qo`l tiqib ikki sharni ketma - ket olganda A va V sharlarning chiqish ehtimolligi qanday? Javobi: 1 6

4-masala. Yashikda 5 ta oq va 4 ta qora shar bor. Yashikdan qo`l tiqib ketma-ket ikkita shar olganda qora sharlarning chiqish ehtimolligi nimaga teng? Javobi: 1 6

5-masala. Birdan oltigacha nomerlangan o`yin soqqasi besh marta tashlandi. Bunda uning bir bilan belgilangan qirrasining uch marta chiqish ehtimolligi nimaga teng? Bu va keyingi masalada o`yin soqqasining birdan oltigacha nomerlangan qirralarining chiqish ehtimolliklari bir xil deb faraz qilinsin. Javobi: 125 3888

6-masala. Bundan oldingi masalada qayd qilingan o`yin soqqasining beshtasi Bilan o`yin olib borilmoqda deb faraz qilaylik. Soqqalar tashlanganda quyidagi holatlar uchun olti bilan belgilangan qirraning chiqish ehtimolligi topilsin: a) bita soqqada b) ikkita soqqada.

Javobi: a) 0,4 б) 0,16.

7-masala. Ikkita bir xil hajmli yacheykadan tashkil topgan berk idishda 10 ta gaz molekulasi bor. Yacheykalardan birida: 1) 1 ta; 2) 5 ta va 3) 10 ta molekula bir vaqtning o`zida bo`ladigan holatlarning statistik vaznlari (termodinamik ehtimolliklari) nimaga teng? Javobi: 1) 10, 2) 252, 3) 1.

8- masala. Faraz etaylik balandligi 100 m bo`lgan vertikal nay ichida 500K temperaturali havo bo`lsin Tashqaridan nay 250K temperaturali havo Bilan o`ralgan bo`lsin. Nayning usti ochiq, past tomoni yuzi 300 sm2 bo`lgan qalpoq bilan berkitilgan. Agar nayning yuqori uchidagi havo bosimi 740 mm.sim.ust. ga teng bo`lsa, qopqoqqa qancha kuch ta`sir etadi? Javob: 20 N.

9-masala. 160 g kislorod bilan 120 g azot aralashmasining xossasiga o`xshash xossali gazning molyar massasi aniqlansin. Javоби: 30,2 г/моль.

10-masala. V hajmli berk idishda N ta gaz molekulasi bor. Idish hajmining kichik qismi bo`lgan $V_1$ hajmdagi molekulalarning o`rtacha sonini va ularning nisbiy kvadratik fluktuasiyalarini aniqlang? Javobi: $\overline{N_1} = N\frac{V_1}{V}$; $\frac{\overline{\Delta N_{кв}}}{N_1} = \sqrt{\frac{V}{N \cdot V_1}}$

11-masala. Gaz molekulasi o`rtacha kvadratik tezligi bilan uning tashkil etuvchilari o`rtacha kvadratik qiymati o`zaro qanday bog`langan?

Javobi: $\overline{J^2} = \overline{J^2{}_x} + \overline{J^2{}_y} + \overline{J^2{}_z} = 3\overline{J^2{}_x}$

12-masala. Gaz molekulalarining idish devoriga urilishlarini mutloq elastik deb hisoblab, bitta urilishda idish devori oladigan kuch impulñining o`rtacha qiymatini hisoblash ifodasi topilsin? Javobi: $F \cdot t = 2 \cdot m_0 \sqrt{\overline{J^2{}_x}}$ m_0- molekula massasi.

13-masala. Hajm birligidagi gaz molekulalari soni n (konsentrasiya) va molekulalarning o`rtacha kvadratik tezligi ma`lum bo`lsa gaz joylashgan idish devorining yuza birligiga vaqt birligi ichida uchib kelib uriladigan molekulalar soni N topilsin? Javobi: $N = \frac{1}{2} n\sqrt{\overline{J^2{}_x}}$.

14-masala. 8, 9 va 10 masalalarning yechimlaridan foydalanib, gaz joylashgan idish devori yuza birligining molekulalar kelib urilishi natijasida vaqt birligida oladigan kuch impulñining o`rtacha qiymatini aniqlang? Javobi: $\frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot \overline{J^2}$

II BOB. IDEAL GAZLARNING KINETIK NAZARIYASI

9§. MOLEKULYAR-KINETIK NAZARIYANINNG ASOSIY TENGLAMASI

Har qanday moddaning uch agregat holatidan eng soddasi uning gazsimon holatidir, chunki bu holatda molekulalar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlari juda kichik bo`lib, ularni ba`zi hollarda umuman nazarga olmaslik ham mumkin. Shu sababli molekulyar fizikani bayon qilishni biz gazlarning xossalarini o`rganishdan boshlaymiz. Bunda biz dastlab molekulalararo kuchlarni va ularning o`lchamlarini nazarga olmaymiz, ya`ni gazni o`zaro ta`sirlashmaydigan moddiy nuqtalar to`plami deb olamiz.

Yuqoridagi talablarga javob beruvchi, ya`ni o`zaro ta`sirlashmaydigan moddiy nuqtalar to`plami kabi xossalarga ega bo`lgan gaz **ideal gaz** deb ataladi. Oldindan shuni aytib o`tish lozimki, ideal gaz uchun topilgan nazariy xulosalar siyraklashgan gazlar uchun aniqlangan tajriba ma`lumotlari xulosalariga deyarli mos keladi.

Gazning holatini aniqlovchi asosiy kattaliklardan biri uning **bosimidir.** Chunki, gaz o`zi turgan idish devorlariga bosim berish xossasi bilan o`zining mavjudligini namoyon qiladi. Gazning idish devorlariga bosimi gaz molekulalarining idish devorlari bilan cheksiz to`qnashuvlari natijasidir. Garchi har bir alohida to`qnashuv vaqtida devor molekulalari bilan o`zaro ta`sir kuchi noma`lum bo`lsada, gazning barcha molekulalarini birgalikda ta`sir qilgandagi o`rtacha kuchini va u orqali gazning bosimini aniqlash mumkin. Molekulyar kinetik nazariya gazning bosimi uchun quyidagi ifodani beradi (I- bobdagi 8, 9 va10 masalalarga e`tibor bering):

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{J}^2 \qquad (1)$$

bu yerda m_0 - molekulaning massasi, n-hajm birligidagi molekulalar soni, $\sqrt{\overline{J}^2}$ - molekulalarning o`rtacha kvadratik tezligi. (1) ifodaning o`ng qismini ikkiga bo`lib va ko`paytirib quyidagini olamiz.

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{J}^2}{2} \qquad (2)$$

formuladagi $\frac{m_0 \overline{J}^2}{2}$ - kattalik bitta gaz molekulasining o`rtacha kinetik energiyasini bildiradi. Demak, ideal gazning bosimi hajm birligidagi gaz molekulalarining o`rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng ekan. (2) tenglama ko`pincha ideal gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deb ataladi.

Shuni ta`kidlab o`tish lozimki, gazning bosimi-gazning ko`p sonli molekulalaridan tashkil topganligi bilan bog`liq bo`lgan, uni butunligicha xarakterlovchi, bevosita tajribada o`lchanadigan statistik ma`noga ega bo`lgan makroskopik kattalikdir. Shuning uchun bir yoki bir necha molekula hosil qilgan bosim haqida gapirish ma`noga ega bo`lmaydi.

10§. ISSIQLIK VA TEMPERATURA

Temperatura tushunchasi jismlarning qay darajada qiziganligini xarakterlash uchun kiritilgan kattalikdir. Temperaturani miqdoriy aniqlash va aniq temperatura shkalasini tuzishda ob`ektiv fizik hodisalar va dalillar asos qilib olinadi.

Issiqlik haqidagi ta`limotda temperatura issiqlik yoki termodinamik muvozanat tushunchasi orqali kiritiladi. Issiqlik muvozanati holatida bo`lgan jismlarning temperaturasi bir xil bo`ladi. Agar jism yoki jismlar sistemasi issiqlik muvozanati holatida bo`lmasa va sistema izolyasiyalangan bo`lsa, u holda biror vaqtdan keyin issiqlik muvozanati qaror topadi. Bu holatga erishilgandan keyin sistemada hech qanday makroskopik o`zgarishlar sodir bo`lmaydi. Muvozanat holat belgilaridan biri jism yoki sistema barcha qismlari temperaturalarning tengligidir. Issiqlik muvozanati qaror topish jarayonida, ya`ni ikki jism temperaturasining tenglashish jarayonida issiqlik (energiya) bir jismdan ikkinchisiga uzatiladi. Demak, eksperimental nuqtai nazardan jismning temperaturasi uning boshqa temperaturali ikkinchi bir jismga issiqlik beradimi yoki undan issiqlik oladimi, ana shuni aniqlovchi kattalikdir.

Temperatura jism holatining makroskopik xarakteristikalaridan biridir. Bu tushuncha bir yoki kam sondagi atomlar va molekulalardan tashkil topgan sitemalar uchun ma`noga ega bo`lmaydi. Garchi bu tushuncha, faqat termodinamik muvozanatda bo`lgan sistemalar uchun qo`llanilsada, biroq undan hali to`la ravishda muvozanat qaror topmagan sistemalarda ham foydalanish mumkin. Buning uchun siste-mani fikran yetarlicha kichik makroskopik qismlarga bo`linadi. Bunday qismlarning relaksasiya vaqti kichik bo`lganligi tufayli ularning har biri amalda tez termodinamik muvozanatga keladi va shu sababli bunday kichik qismlarning temperaturasi haqida gapirish mumkin. Lekin, shunday kuchli (tez o`tadigan) muvozanatsiz holatlar ham bo`ladiki, ularni amalda muvozanatda bo`lgan kichik qismlarga bo`lib bo`lmaydi. Bunday holatlar uchun temperatura tushun-chasini qo`llash mumkin emas.

11§. TEMPERATURANI ANIQLASH

Temperaturani miqdoriy aniqlash temperatura shkalasini belgilashga, ya`ni har qanday temperaturani aniq son bilan xarakterlashga olib kelinadi. Bunda jism temperaturasi o`zgarganda uning xossalarini o`zgarishi asos qilib olingan. Temperaturani o`lchaydigan asbob, **termometrni** yaratishda biror modda (**termometrik modda**) va moddaning temperatura indikatori bo`lib xizmat qiladigan parametri-**termometrik kattalik** tanlanadi. Qanday modda va qanday kattalikni tanlash mutlaqo ixtiyoriy. Masalan, suyuqlikli termometrlarda termometrik jism suyuqlik (masalan, simob), termometrik kattalik esa uning hajmi bo`ladi. Qarshilik termometrlarida esa termometrik jismlar-metallar yoki yarim o`tkazgichlar, termometrik kattaliklar esa ularning elektr qarshiliklaridir. Ter-mometrik kattalikni tanlashda shu narsaga e`tibor berish kerakki, termometrik jism qizdirilganda termometrik kattalik temperatura o`zgarishida monoton o`zgarishi kerak.

Temperatura birligi - **gradus** (Kelvin yoki boshqa birligi) kattaligini ixtiyoriy tanlash mumkin. Odatda gradusning o`lchami quyidagicha aniqlanadi. Ixtiyoriy holda ikki temperatura tanlanadi-odatda, bu muzning normal erish nuqtasi va suvning normal qaynash nuqtasi (ular reper nuqtalar deb ataladi) bo`ladi. Bu temperatura intervalini biror sondagi teng qismlarga-graduslarga bo`linadi va bu

temperaturalardan biriga biror aniq son qiymati yoziladi. Shu bilan ikkinchi temperaturaning va ixtiyoriy oraliq temperaturaning qiymati aniqlanadi.

Ideal gaz shkalasiga asoslangan termometrlarda termometrik modda ideal gaz, termometrik kattalik gazning o`zgarmas hajmdagi bosimidir. Bunda bosimning temperaturaga bog`likligi chiziqli deb qabul qilinadi. Agar suvning normal qaynash va muzning normal erish temperaturalari orasidagi farqni 100^0 ga teng deb olinsa, gazning bosimi P bilan uning temperaturasi orasidagi bog`lanish quyidagicha bo`ladi:

$$T = \frac{273{,}15}{P_0} P$$

bundagi P_0- eriyotgan muz temperaturasiga mos keluvchi bosim.

Ideal gaz shkalasidagi nolga teng temperatura gazning bosimi (termometrik kattalik) nolga teng bo`ladigan temperatura bo`lishi kerak. Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala absolyut shkala deb ataladi va bunday shkala bo`yicha hisoblanadigan temperatura absolyut temperatura deb ataladi.

Selsiy shkalasi (uning noli muzning normal erish temperaturasidan boshlanadi) bo`yicha hisoblanadigan t temperatura absolyut temperatura T bilan quyidagicha bog`langan:

$$t = T - 273{,}15$$

Absolyut temperatura shkalasi ko`pincha Kelvin shkalasi deb ham ataladi va bu shkaladagi temperatura birligini - Kelvin (K) deb yuritiladi. Biz kelgusida asosan Kelvin shkalasidan foydalanamiz.

12§. TEMPERATURANING MOLEKULYAR-KINETIK MA`NOSI

Molekulyar-kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini quyidagi ko`rinishda yozib

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

bu tenglamadan tajriba ma`lumotlariga asoslanib quyidagi xulosani hosil qilish mumkin. Barcha ideal gazlar uchun birday temperaturada bir molekulaga to`g`ri keluvchi o`rtacha kinetik energiya bir xil. Chunki, birday temperaturada barcha ideal gazlar uchun

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

Demak, molekulaning o`rtacha kinetik energiyasini gaz temperaturasining miqdoriy o`lchovi deb hisoblasa bo`lar ekan.

Ideal gaz uchun temperatura molekulalar o`rtacha kinetik energiyasining uchdan ikki qismiga teng deb hisoblansa, gaz bosimi uchun kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi soddalashadi. Agar temperaturani $\theta$ harfi bilan belgilasak, bu tenglama quyidagi ko`rinishga keladi:

$$P = nq \quad (2)$$

Bunday yo`l bilan aniqlanadigan temperatura energiya birliklarida o`lchanishi kerak. Biroq temperaturaning energiya birligidan foydalanish noqulay bo`lganligi uchun, u foydalanishga juda qulay bo`lgan birlik graduslarda o`lchanadi. Energiya

birligida o`lchanuvchi temperatura bilan absolyut temperatura o`zaro quyidagicha bog`langan:

$$q = kT \qquad (3)$$

bundagi k-koeffitsiyent Bolsman doimiysi deb ataladi. Uning son qiymati eksperimentdan aniqlangan bo`lib, uning qiymati quyidagiga teng:

$$k = 1{,}306662 \cdot 10^{-23} \frac{ж}{K}$$

(3) ifodaga ko`ra temperaturaning nolida (absolyut nolda) molekulalar tartibsiz harakatining o`rtacha kinetik energiyasi nolga teng bo`lar ekan. Lekin, atom va molekulalarning to`la tinchlikda bo`lishi Geyzenbergning noaniqlik prinsipiga zid keladi. **Absolyut nol** temperaturaga minimal energiya muvofiq keladi va u nol energiya deb ataladi. Bu harakatni issiqlik harakati deb bo`lmaydi va uni jismdan olib bo`lmaydi.

Shunday qilib, absolyut nol temperatura jismda issiqlik harakati to`xtaydigan va zarralarning nol energiya bilan bog`langan harakatigina mavjud bo`lgan temperatura deb ta`riflanishi mumkin.

13§. MENDELEYEV-KLAPEYRON TENGLAMASI

Gazning holatini aniqlovchi kattaliklarni o`zaro bog`lovchi tenglamaga holat tenglamasi deb ataladi. Gazning muvozanat holatini uchta kattalik - gazning bosimi, hajmi va temperaturasi orqali aniqlash mumkin. U holda gazning holat tenglamasini umumiy ko`rinishda quyidagicha yozish mumkin.

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

Ideal gazning holat tenglamasini kinetik nazariyasining absolyut temperatura orqali yozilgan asosiy tenglamasi

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

dan foydalanib oson hosil qilish mumkin.

Agar V hajmda N ta molekula bo`lsa, u holda $n = \frac{N}{V}$ va bu ifodani (1) ga qo`yib, quyidagini hosil qilish mumkin:

$$PV = NkT \qquad (2)$$

Bu tenglamaga ideal gazning holat tenglamasi deyiladi. Bu tenglamadagi bevosita o`lchab bo`lmaydigan zarralar soni N- o`rniga oson o`lchash mumkin bo`lgan gazning m-massasini kiritib, tenglamani o`zgartirish mumkin.

Ma`lumki, gazning berilgan massadagi molekulalari soni N ni, Avogadro soni $N_0$ ga bo`lsak, gazning shu massadagi mollar soni kelib chiqadi. Ammo, bu kattalikning o`zini gazning m massasini uning molyar massasi μ ga bo`lib topish ham mumkin, shuning uchun

$$\frac{N}{N_0} = \frac{m}{m} \qquad \text{bundan} \qquad N = \frac{m}{m} N_0 \qquad (3)$$

(3) ifodani (2) formulaga qo`yamiz. U holda holat tenglamasi quyidagi ko`rinishni oladi:

$$PV = \frac{m}{m} N_0 kT \qquad (4)$$

Bu tenglamadagi ikki universal doimiy-Avogadro soni N_0 va Bolsman doimiysi k ning ko`paytmasi $N_0 \cdot k = R$ universial gaz doimiysi deb ataladi va uning qiymati quyidagiga teng:

$$R = 8{,}31441 \frac{Ж}{моль\,K}$$

(4) tenglamada $N_0 k$ ni universal gaz doimiysi R bilan almashtirib, quyidagi formulani olamiz:

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

Idel gaz holat tenglamasining bu ko`rinishi Mendeleev-Klapeyron tenglamasi deb ataladi.

14§. IDEAL GAZ QONUNLARI

Ideal gaz qonunlari tajriba yo`li bilan topilgan bo`lib, ular gazlar kinetik nazariyasi tenglamalaridan keltirib chiqarilishi mumkin.

Boyl-Mariott qonuni. Bu qonun o`zgarmas temperaturada (izotermik jarayonda) gaz hajmining o`zgarishi bilan uning bosimi qanday o`zgarishini ko`rsatadi (albatta, uning massasi o`zgarmas bo`lganda).

Agar Mendeleev-Klapeyron tenglamasida T=const deb olinsa, uning o`ng qismi o`zgarmas kattalik bo`ladi:

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

Bu ifoda Boyl-Mariott qonuni deb ataladi va bu qonunga muvofiq, o`zgarmas temperaturada gazning hajmi o`zgartirilsa, uning bosimi shunday o`zgaradiki, bunda bosimning hajmga ko`paytmasi o`zgarmas kattalik bo`lib qolaveradi.

Gey-Lyussak qonuni. Gazning bosimi o`zgarmasdan o`tadigan jarayon izobarik jarayon deb ataladi. Holat tenglamasidan bu holda gaz hajmining uning temperaturasiga nisbati o`zgarmas kattalik bo`lishi kelib chiqadi:

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{mP} = const$$

Izoxorik jarayon tenglamasi deb ataluvchi bu ifoda Gey-Lyussak qonuni deb ataladi.

Izobarik jarayonda, ya`ni gaz hajmi o`zgarmasdan o`tadigan jarayonlarda gaz bosimini uning temperaturasiga nisbati o`zgarmas bo`ladi:

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

Avogadro qonuni. Bu qonunga muvofiq, birday bosim va temperaturada har qanday gazning teng hajmdagi molekulalari soni bir xil bo`ladi.

Dalton qonuni. Biror hajmda issiqlik muvozanatida bo`lgan bir-biri bilan ximiyaviy reaksiyaga kirishmaydigan turli gazlarning aralashmasi bo`lsin. Aralashmaning har bir komponentining bosimi parsial bosim deb ataladi va Dalòon qonuniga muvofiq gazlar aralashmasining bosimi uning komponentlari parsial bosimlarining yig`indisiga teng.

Yuqoridagilardan ko`rinadiki, tajribada topilgan gaz qonunlarini kinetik nazariyaning asosiy tenglamasidan osongina keltirib chiqarish mumkin ekan. Bu narsa molekulyar-kinetik tasavvurlarga tayanib ish ko`ruvchi kinetik nazariyaning to`g`riligini tasdiqlaydi.

15§. GAZ MOLEKULALARINING TEZLIKLARINI ANIQLASH

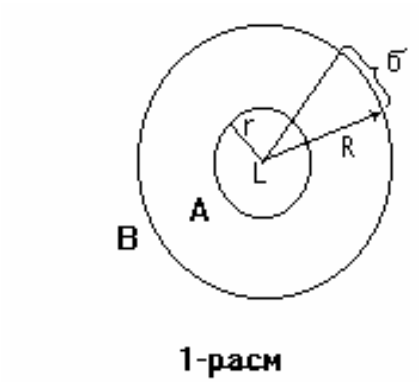
Gaz molekulalarining ilgarilanma harakati o`rtacha kinetik energiyasi bilan absolyut temperatura orasidagi bog`lanishdan

$$\frac{m_0 \overline{J}^2}{2} = \frac{3}{2}kT \qquad (1)$$

molekulalarning o`rtacha kvadratik tezligi quyidagiga teng bo`ladi:

$$J_k = \sqrt{\overline{J}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (2)$$

Bu tezlik berilgan gaz uchun faqat temperaturaga bog`liq va birday sharoitda molekulasining massasi kichik bo`lgan gaz molekulalarining tezligi kattaroq bo`ladi.



1-расм

Gaz molekulalarining tezligini bevosita tajriba yo`li bilan 1920 yilda Shtern aniqlagan edi. Shtern ishlatgan tajriba qurilmasining soddalashtirilgan sxemasi 1- rasmda berilgan. Bunda tezligi o`rganilayotgan zarralar manbai sifatida kumush qatlami qoplangan L platina sim ishlatilgan.

Platina sim ikki koaksial (A va V) silindr o`qi bo`ylab joylashtirilgan. Markaziy A silindrda L simga parallel qilib eni 0,4 mm li tirqish hosil qilingan. Bu sistema ichida juda yuqori vakuum hosil qilingan bo`lib, u L sim tortilgan o`q atrofida katta tezlik bilan aylana oladi. L sim orqali elektr toki o`tkazish yo`li bilan Shtern uni kumush sezilarli darajada bug`lana oladigan temperaturagacha qizdirgan. Butun sistema qo`zg`almas bo`lganda kumush atomlarining ingichka dastasi tashqi silindrning ichki sirtida kondensasiyalanadi va ichki silindrdagi tirqishning tasvirini hosil qiladi. Agar ikkala silindr ω - burchak tezlik bilan harakatga keltirilsa, tirqish tasviri avvalgi vaziyatiga nisbatan biror δ masafaga siljiydi.

Atomlar tirqishdan tashqi silindrgacha bo`lgan (R-r) masofani $J$ tezlik bilan harakatlanib, $t = \frac{R-r}{J}$ vaqt ichida bosib o`tadi. Shu vaqt ichida tashqi silindrning har bir nuqtasi ωRt ga teng bo`lgan δ masofaga siljiydi:

$$d = vR \cdot t = \frac{vR(R-r)}{J} \qquad (3)$$

yoki

$$J = \frac{vR(R-r)}{d} \qquad (4)$$

O`lchash aniqligini oshirish uchun qurilma avval bir tomonga, so`ngra esa ikkinchi tomonga aylantiriladi. U vaqtda polosalar orasidagi masofa 2δ ga teng bo`ladi. Atomlarning shunday yo`l bilan aniqlangan tezliklari (2) formula bilan aniqlangan tezlikka yaqin bo`lib chiqdi.

Shuni aytib o`tish lozimki, Shtern tajribalarida siljigan polosalar siljimagan polosalarga nisbatan ancha keng yoyilgan edi. Bu narsa kumush atomlarining manbadan turli tezliklar bilan chiqishi orqali tushuntirilishi mumkin. Chunki tezroq harakatlanuvchi atomlar sekinroq harakatlanuvchi atomlarga qaraganda asbob ko`zg`almas turganda tushgan joylariga nisbatan kamroq siljiydi.

16§. BROUN HARAKATI

Molekulalar harakatining mavjudligini eng ishonarli tasdiqlaridan biri Broun harakati deb ataladigan hodisadir. Ingliz botanigi Broun 1827 yilda mikroskop orqali suvdagi juda kichik sporalarni o`rgana turib, ularning uzluksiz va tartibsiz harakatlarini kuzatdi.

Keyingi tajribalar shuni ko`rsatdiki, bunday harakatlar zarralarning biologik kelib chiqishiga bog`liq bo`lmay, balki suyuqlikda yoki gazda muallaq bo`lgan har qanday kichik zarralarga ham xos ekan. Suyuqlik yoki gazdagi muallaq zarralarning bunday tartibsiz harakati **Broun harakati** deb ataldi.

Broun harakatini o`rganish bo`yicha o`tkazilgan maxsus tadqiqotlar Broun zarralarining harakat tezligi tempe-ratura ortishi va zarralar o`lchamlarining kichiklashuvi bilan ortib borishini ko`rsatdi. Agar Broun zarrasining harakati suyuqlik yoki gazning harakatlanayotgan molekulalari tomonidan berilayotgan zarbalar natijasida yuzaga keladi deya olsak, bu qonuniyatlarni osongina tushuntirish mumkin. Zarralar o`lchami katta bo`lganda, unga turli tomondan beriladigan zarbalar soni juda ko`p bo`lib, zarraning oladigan natijaviy impulsli deyarli nolga teng bo`ladi. Biroq, zarrachalar o`lchami mikroskopik bo`lganda, zarraga turli tomondan beriladigan zarbalar kuchi ham to`qnashuvda ishtirok qilayotgan molekulalar soni ham turlicha bo`ladi. Natijada Broun zarrasi oladigan impulñ noldan farqli bo`ladi va turli tomondan beriladigan zarbalar ta`siri vaqt o`tishi bilan o`zgarib turganligi uchun zarraning harakat yo`nalishi ham o`zgarib turadi.

Shunday qilib, Broun harakati tartibsiz molekulyar harakatlar mavjudligining natijasi ekan. Broun zarralari o`zi harakat qilayotgan muhit bilan issiqlik muvozanatida bo`ladi. Shu sababli Broun zarrasi ilgarilanma harakatning o`rtacha kinetik energiyasi suyuqlik yoki gaz molekulalarining o`rtacha kinetik energiyasiga, ya`ni 3kT/2 ga teng bo`lishi kerak:

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

Nazariy hisoblashlar Broun zarrasining Δt vaqt oralig`ida X o`qi yoki ixtiyoriy boshqa o`q bo`ylab siljishlari (siljishlarning o`qqa proyeksiyalari) kvadratlarining o`rtacha qiymati shu vaqt oralig`iga proporsional ekanligini ko`rsatadi:

$$\Delta\overline{x^2} = \frac{kT}{3pha}\Delta t \quad (2)$$

bu yerda a- zarra radiusi, η- suyuqlik yoki gazning ichki ishqalanish koeffitsiyenti.

1909 yilda Perren eksperimental yo`l bilan Δx siljishlarni o`lchadi. Uning o`lchashlaridan olgan ma`lumotlari (2) formulaga muvofiq keldi. Bu Broun harakatini molekulyar-kinetik tushuntirishning va molekulyar-kinetik nazariyaning to`g`riligini yana bir bor tasdiqladi.

17§. BOLSMAN TAQSIMOTI

Tashqi kuchlar bo`lmaganda gaz molekulalarining muvozanat holatidagi konsentrasiyasi hamma yerda birday bo`ladi. Biroq kuch maydonlari bo`lganida bunday bo`lmaydi. Masalan, og`irlik kuchi maydonida joylashgan ideal gazning konsentrasiyasi balandlik ortishi bilan quyidagi qonun asosida kamayib boradi:

$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 g x}{kT}} \quad (1)$$

bu yerda n va n_0 - oralaridagi masofa farqi x ga teng bo`lgan nuqtalardagi hajm birligidagi molekulalar soni, $m_0 g x$ -kattalik molekulaning $x$ balandlikdagi potensial energiyasini bildiradi. Agar og`irlik kuchi o`rnida biror boshqa kuch ta`sir qilsa ham molekulalarning potensial energiya bo`yicha taqsimlanish xarakteri o`zgarmaydi.

Agar gaz yoki o`zini gazga o`xshab tutuvchi har qanday zarrachalar qandaydir kuch maydonida bo`lib, shu tufayli uning zarralari biror potensial energiyaga ega bo`lsa, u holda berilgan U potensial energiyali zarralar soni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

Issiqlik muvozanati sharoitida U potensial energiyali zarralar sonini topishga imkon beruvchi bu ifodaga Bolsman taqsimoti deb ataladi.

18§. MAKSVELL TAQSIMOTI

Muvozanat holatidagi gaz molekulalarining tezlik bo`yicha taqsimlanish qonunini molekulalarning tezlik tashkil etuvchilari uchun chiqarilgan taqsimoti ifodasidan foydalanib topish mumkin. Tezlik komponentlari uchun yozilgan taqsimot funksiyasiga binoan gaz molekulalari tezliklarining X o`q bo`yicha komponentasining $J_x$ bilan $J_x + dJ_x$ oraliqdagi qiymatga, Y o`q bo`yicha komponentasining $J_y$ bilan $J_y + dJ_y$ oraliqdagi qiymatga va Z o`q bo`yicha komponentasining $J_z$ bilan $J_z + dJ_z$ oraliqdagi tezlikka ega bo`lishi ehtimolliklari mos ravishda quyidagilarga teng bo`ladi:

$$\frac{dn_x}{n} = Ae^{\frac{mJ_x^2}{kT}} dJ_x, \quad \frac{dn_y}{n} = Ae^{\frac{mJ_y^2}{kT}} dJ_y, \quad \frac{dn_z}{n} = Ae^{\frac{mJ_z^2}{kT}} dJ_z, \quad A = \left(\frac{m}{2pkT}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Максвелл тақсимотини келтириб чиқиришда аввал газ молекулаларининг координити ўқлари бўйича тезлик ташкил этувчилари учун тақсимот функцмяси топилади. Сўнгра, молекулаларнинг тезликлар бўйича уларнинг йўналишига боғлиқ бўлмаган ҳоли учун тақсимот функцияси келтириб чиқарилади.

Фикран иккига ажратилган ва термодинамик мувозанатда бўлган газни кўз олдимизга келтирайлик. Биринчи сохадаги газ молекулалари ҳеч қандай потенциал энергияга эга эмас, бу соҳадан иккинчи соҳага ўтишга кичик ΔX қатламда газ молекулалари потенциал энергиясининг қиймати 0 дан Ux қийматгача ўсувчи бўлсин. Газ мувозанат ҳолатида бўлганлиги учун соҳаларнинг биридан иккинчисига ва иккинчисидан биринчисига ΔX қатлам орқали вақт бирлиги ичида ўтувчи молекулалар сони N_1 ва N_2 бир—бирига тенг бўлади.

Агар газ молекулаларидан бирининг тезлиги биринчи соҳадан иккинчи соҳага ўтишда ϑ_{ox} дан ϑ_x гача ўзгарса, у ҳолда энергиянинг сақланиш қонунига кўра қуйидаги муносабат ўринли бўлади:

(1)

бу ерда M_0 — газ молекулаларининг массаси. Равшанки, иккинчи соҳага ΔX қатлам орқали тезлиги энергиянинг сақланиш қонунига асосан

(2)

шартни қаноатлантирадиган масалаларгина ўта олади.

Агар биринчи соҳадаги молекулалар концентрацияси η_{ox}, тақсимот зичлиги $f(\vartheta_{ox})$ бўлса, у ҳолда тезликларининг X компоненталари ϑ_{ox} дан $\vartheta_{ox}+ d\vartheta_{ox}$ гача интервалда ётган ҳажм бирлигидаги молекулалар сони

$$d\eta_{ox} = \eta_{ox} \cdot f(\vartheta_{ox}) \cdot d\vartheta_{ox} \qquad (3)$$

га тенг бўлади. Чегара қатлам ΔX нинг юза бирлигидан вақт бирлиги ичида биринчи соҳадан иккинчи соҳага ўтувчи молекулаларнинг умумий сони N_1ни қуйидагига тенг бўлади:

(4)

Худди шунга ўхшаш ифода қатламни ўнгдан чапга кесиб ўтувчи молекулалар сони N_2 учун ҳам ўринли:

(5)

Бу ифодада интеграллаш чегараси нолбдан бошланишига сабаб 2—соҳадан 1—соҳага ўтишда молекулалар энергия сарф қилмайди. Мувозанат ҳолатида юқорида айтиб ўтилгандек N_1 ва N_2 бир—бирига тенг бўлганлиги сабабли қуйидагича тенглик ўринли бўлади.

(6)

Энергия сақланиш қонуни (1) ни дифференциаллаб қуйидагини оламиз:

(7)

(6) тенгламанинг чап томонидаги интеграл остидаги $\vartheta_{ox} \cdot d\vartheta_{ox}$ ни унга тенг бўлган $\vartheta_x \cdot d\vartheta_x$ қийматга алмаштирамиз. Агар чап томондаги интеграллаш ифодасини пастки чегарасини ноль билан алмаштирсак, бу ифода қуйидагича кўринишни олади:

(8)

ёки

(9)

Агар Больцман тақсимоти

(10)

ни ва энергияни сақланиш қонуни (1) ни эътиборга оладиган бўлсак, (9) ифода қуйидаги кўринишга келади:

(11)

Кўринадики, юқоридаги ифода тезликка боғлиқ бўлмаган қандайдир ўзгармас А сонга тенг. У ҳолда тезликнинг Х ташкил этувчилари бўйича молекулалар тақсимоти фуекцияси учун қуйидагини ёзиш мумкин:

(12)

Нормаллаш шарти

ўзгармас А катталик учун қуйидаги қийматни беради:

(13)

Юқорида чиқарилган (12) ифода тезликнинг фақат Х–компонентаси учун ўринли бўлмай, балки молекула тезликларининг бошқа ташкил этувчилари учун ҳам ўринли бўлади. Шундай қилиб газ молекулалари тезликларининг Х ўқ бўйича компонентасининг ϑ_x билан $\vartheta_x + d\vartheta_x$ оралиқдаги қийматга, Y ўқ бўйича...

формула

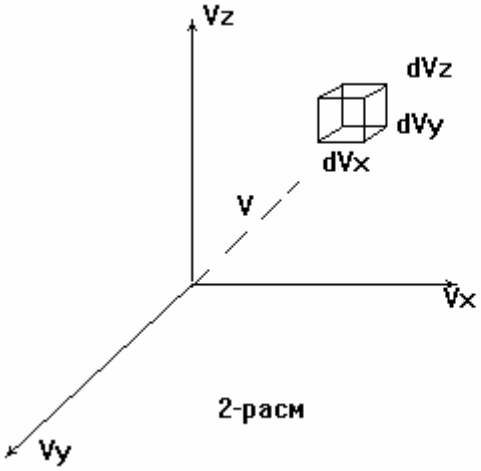
Gaz molekulalarining bir vaqtda yuqoridagi shartlarni qanoatlantiruvchi tezlikka ega bo`lish ehtimolligi ehtimolliklarni ko`paytirish teoremasiga asosan quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$\frac{dn_{xyz}}{n} = A^3 e^{-\frac{mJ^2}{2kT}} dJ_x dJ_y dJ_z$$

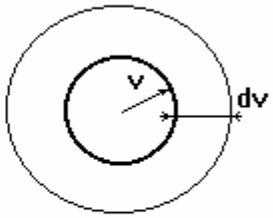
bu yerda

$$J^2 = J_x^2 + J_y^2 + J_z^2$$

Gazning hajm birligidagi J tezlik komponentlari yuqorida ko`rsatilgan intervallarda yotgan barcha molekulalarini bir nuqtaga to`plab, keyin qo`yib yubordik, deb faraz qilsak, u holda molekulalar 1s dan so`ng boshlang`ich vaziyatdan $J$ masofada tomonlari $dJ_x, dJ_y, dJ_z$ bo`lgan parallelopiped ichida, ya`ni $dV = dJ_x dJ_y dJ_z$ hajmda bo`ladi (2-rasm).



2-расм



3-расм

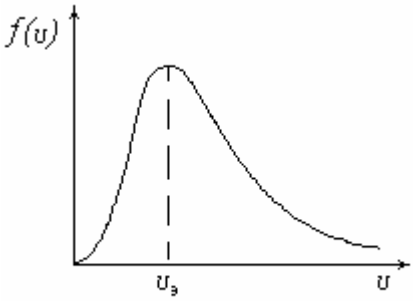
Shunga o`xshash mulohaza orqali gaz molekulalarining tezliklar bo`yicha ularning yo`nalishiga bog`liq bo`lmagan holi uchun taqsimot funksiyasini topish mumkin. Agar gazning hajm birligidagi tezliklari barcha yo`nalishlar bo`yicha $J$ dan $J+dJ$ gacha intervalda yotgan barcha molekulalarini bir joyga to`plasak va so`ngra qo`yib yuborsak, ular har tomonga uchib ketib, bir sekunddan keyin radiusi J va qalinligi dJ bo'lgan shar qatlami ichida bo'ladi (3—rasm). Shar qatlami hajmi $4\pi J^2 dJ$ ekanligini e`tiborga olsak, gaz molekulasining $J$ dan $J+dJ$ gacha bo`lgan intervaldagi tezlikka ega bo`lish ehtimolligi uchun quyidagini yozish mumkin.

$$\frac{dn}{n} = A^3 e^{-\frac{mJ^2}{2kT}} 4pJ^2 dJ_x \qquad (1)$$

yoki

$$\frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{p}}\left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} J^2 e^{-\frac{mJ^2}{2kT}} dJ \qquad (2)$$

Bu formula molekulalarning tezliklar bo`yicha Maksvell taqsimoti deb ataladi. Maksvell taqsimoti funksiyasining ko`rinishi grafik ravishda 4-rasmda ko`rsatilgan. Maksvell taqsimotining maksimumiga to`g`ri keluvchi tezlikka eng katta ehtimolli tezlik deb ataladi va molekulalarning ko`pchiligi shu tezlikka yaqin bo`lgan tezliklar bilan harakatlanadi. Bu tezlikning qiymatini taqsimot funksiyasidan tezlik bo`yicha olingan birinchi tartibli hosilani nolga tenglab topish mumkin.



4-расм

Eng katta ehtimolli tezlikning qiymatini quyidagi formula yordamida hisoblash mumkin:

$$J_э = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{m}}$$

Maksvell taqsimoti funksiyasidan foydalanib, molekulalarning o`rta arifmetik tezligi $\bar{J}$ ni va molekulalarning o`rtacha kvadratik tezligi $\bar{J}_k$ ni hisoblash mumkin. Maksvell taqsimotidan foydalanib topilgan bu kattaliklar quyidagilarga teng:

$$\overline{J} = \sqrt{\frac{8RT}{pm}} \qquad \overline{J}_k = \sqrt{\frac{3RT}{m}}$$

19§. MAKSVELL-BOLSMAN TAQSIMOTI

Bolsman taqsimoti $n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}$ (1) ni Maksvell taqsimoti (2) ga qo`ysak, quyidagi hosil bo`ladi:

$$dn = n\frac{4}{\sqrt{p}}\left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mJ^2}{2kT}} J^2 dJ$$

$$dn = n\frac{4}{\sqrt{p}}\left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{U+E_k}{kT}} J^2 \; dJ \qquad (3)$$

bu yerda $E_k = \frac{mJ^2}{2}$ -zarracha kinetik energiyasi. (3) formulaga Maksvell-Bolsman taqsimoti deyiladi. Uning yordamida tashqi maydonda potensial energiyasi U ga teng bo`lgan va tezliklari $J$ bilan $J + dJ$ oraliqdagi intervalda yotgan zarralar soni yoki ulushini topish mumkin. Shuni qayd qilish lozimki, Maksvell taqsimoti molekulalarning tashqi maydondagi potensialiga bog`liq emas. Bolsman taqsimoti ham doimiy temperaturada qaror topadi va molekulalarning tezliklar bo`yicha qanday taqsimlanganligiga bog`liq bo`lmaydi.

20§. FERMI-DIRAK VA BOZE-EYNSHTEYN STATISTIKASI TO`G`RISIDA TUSHUNCHA

Kvant mexanikasiga muvofiq barcha zarralar ikki sinfga bo`linadi: birinchi sinfga elektronlar, protonlar, neytronlar, ya`ni yarim spinli deb ataluvchi barcha zarralar kiradi. Bu zarralar fermionlar deb ataladi va bu zarralar Fermi-Dirak statistikasiga bo`ysunadi. Ikkinchi sinfga fotonlar π va κ mezonlar va butun spinli barcha zarralar kiradi. Bu zarralar Bozonlar deb ataladi va ular Boze-Eynshteyn statistikasiga bo`ysunadi. Biz avval ko`rib o`tgan Bolsman yoki Maksvell-Bolsman statistikasi deb ataluvchi statistika tahminiy bo`lib, ma`lum shart-sharoitlarda Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi bilan mos tushadi. Biz bu yerda faqatgina bu uchchala statistikada kvant nuqtai nazaridan yuritiladigan mulohazalarda ularning umumiy va farqlanadigan tomonlari ustida to`xtalib o`tamiz.

Kvant mexanikasi zarralarining holatlarini koordinatalari va impulslari orqali tavsiflashdan voz kechadi. Kvant mexanikasi, diskret energiyali holatlar bor, deb hisoblaydi. Sistema yoki zarra bir holatdan ikkinchi holatga uzluksiz o`ta olmaydi, chunki oraliq holatlar yo`q. O`tish, sakrash yo`li bilan amalga oshadi. Bu holatlar molekula energiyasining muayyan qiymatlari yoki energiya sathlari $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots$lar bilan xarakterlanadi.

Har uchchala statistikada ham yo`l qo`yiladigan mikroholatlar teng ehtimolli deb qaraladi. Ammo bu statistikalar bir-biridan mikroholatlarning va makroholatlarning statistik vaznlarini qanday aniqlashi bilan farq qiladi. Bolsman statistikasida, zarralar mutlaq ayniy bo`lsa ham ular prinsipial farqlidir, deb faraz qilinadi. Masalan: A zarra bir kvant holatda, V zarra ikkinchi kvant holatda turgan

bo`lsa, bu zarralar o`rin almashganlarida yangi mikroholat yuzaga keladi. Fermi-Dirak va Boze-Eynshteynning statistikalari aksincha, bunday o`rin almashtirishda hech qanday o`zgarishlar bo`lmaydi, ya`ni avvalgi mikroholat yuzaga keladi deb hisoblaydi. Ular orasidagi farq shundan iboratki, Fermi-Dirak statistikasida har bir kvant holatida bittadan ortiq zarra bo`la olmaydi deb hisoblansa, Boze-Eynshteyn statistikasida bunday cheklanishlar qo`yilmaydi. Fermionlar va bozonlarning bunday tabiati kvant mexanikasida asoslab beriladi. Biz bu yerda faqat yuqorida aytilganlar bilangina cheklanamiz.

Kontrol savollar

1. Qanday gazga ideal gaz deyiladi?
2. Gazning bosim hosil qilish xossasi qanday tushuntiriladi?
3. Termometrik jism va termometrik parametr nima?
4. Temperatura nima?Temperaturaning molekulyar−kinetik ma`nosi nimadan iborat?
5. Qanday tenglamaga holat tenglamasi deyiladi?
6. Gaz molekulalari nima uchun turli tezliklar bilan harakat qiladi?
7. Qanday harakatga Broun harakati deyiladi?
8. Bolsman taqsimoti zarrachalarning qanday holatini ifodalaydi?
9. Maksvell taqsimotidagi taqsimot funksiyasining ma`nosi nimadan iborat?
10. Bolöman, Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikalari bir-biridan nima bilan farq qiladi?

Masalalar

1-masala. Suvning bir grammida qancha atom bor?
Javobi: 10^{23}

2-masala. Ikki kub santimetr havoda normal sharoitda qancha molekula bor? Javobi:$5,4 \cdot 10^{19}$

3-masala. Havosi so`rib olingan va ikki uchi kovsharlab qo`yilgan gorizontal kapillyarning o`rtasida 20 sm uzunlikdagi simob ustuni bor. Agar kapillyarni vertikal qilib qo`yilsa, simob ustuni 10 sm siljiydi. Kapillyarning uzunligi 1 m bo`lsa, undagi havo qancha bosimgacha so`rib olingan? Javobi:375 mm. sim. ust.

4-masala. Havo massasining 23,6% qismi kisloroddan va qolgan qismi azotdan tashkil topgan deb hisoblab, uning 750 mm. sim. ust. bosimda va 13^0S temperaturadagi zichligi topilsin. Javobi:1,2 kg m^3.

5-masala. Idishda 10^{-13} mol kislorod va 10^{-6} g azot bor. Aralashmaning temperaturasi 100^0S ga teng. Bunda idishdagi bosim 1,33 Pa ga teng bo`lsa, idishning hajmi nimaga teng? Javobi: 3,2 10^{-3} m^3.

6-masala. Ikki tomoni berk silindrning hajmi qo`zg`aluvchan porshen bilan ikkiga ajratilgan bo`lib, porshenning bir tomonida 1 m massali gaz, ikkinchi tomonida esa 2 m massali xuddi shunday gaz joylashtirilgan. Muvozanat qaror topgandan so`ng 2 m massali gaz silindr hajmining qancha qismini egallaydi? Javobi: 2 3 qismini.

7-masala. Devorlari issiqlik o`tkazmaydigan materialdan yasalgan V_1 va V_2 hajmli ikki ballonga P_1 va P_2 bosimli T_1 va T_2 temperaturali ikki xil gaz qamalgan,

ballonlar jumrakli nay vositasida bir-biriga tutashtirilgan. Jumrakni ochgach yuzaga keluvchi barqarorlashgan temperatura aniqlansin. Javobi: $T = \dfrac{P_1V_1 + P_2V_2}{\left(\dfrac{P_1V_1}{T_1} + \dfrac{P_2V_2}{T_2}\right)}$

8-masala. Faraz etaylik, balandligi 100 m bo`lgan vertikal nay ichida 500K temperaturali xavo bo`lsin. Tashqaridan nay 150K temperaturali xavo bilan o`ralgan bo`lsin. Nayning usti ochiq, past tomoni yuzi 300 sm^2 bo`lgan qopqoq bilan berkitilgan. Agar nayning yuqori uchidagi xavo bosimini 740 mm.sim.ust.ga teng bo`lsa, qopqoqqa qancha kuch ta`sir qiladi? Javobi: 20N

9-masala. 160 g kislorod bilan 120 g azot aralashmasining xossasiga o`xshash xossali gazning molyar massasi aniqlansin. Javobi: 30,2 g/mol.

10-masala. Ikki elektrodli lampada (diodda) katoddan chiqayotgan termoelektronlar anodning tormozlovchi maydoniga tushgach, anodga faqat yetarlicha katta tezlikka ega elektronlar yetib keladi. Katodning temperaturasi 1190 K ga teng va elektronlar tezligi Maksvell qonuniga muvofiq taqsimlangan, deb hisoblab, 1) 0,2 V; 2) 0,4 V to`xtatuvchi potensiallarni yengib o`tuvchi elektronlar ulushi ni toping. Javobi: α= 13,5%; α=1,8%.

11-masala. Havodagi muallaq chang zarrasining o`rtacha kvadratik tezligi havo molekulalarining o`rtacha kvadratik tezligidan necha marta kam. Changning massasi 10^{-8}g. Javobi 1,44 $\cdot 10^7$ marta.

12-masala. Qanday temperaturada azotning 299 m/s bilan 30 m/s intervaldagi tezliklarga ega bo`lgan molekulalari soni 599 m/s bilan 601 m/s intervaldagi tezliklarga ega bo`lgan molekulalar soniga teng bo`ladi Javobi: T=328 K.

13-masala. Qandaydir miqdor gazning o`rtacha kvadratik tezlikdan kichik, ammo o`rtacha arifmetik tezlikdan katta tezlikka ega bo`lgan molekulalari soni har qanday temperaturada birday bo`lishini ko`rsating.

III BOB. ISSIQLIKNIG KINETIK NAZARIYASI. ENERGIYANING SAQLANISH QONUNI

21§. IDEAL GAZNING ICHKI ENERGIYASI

Ideal gazning ichki energiyasi gaz molekulalarining kinetik energiyalari yig`indisiga teng. Agar gaz N ta molekuladan tashkil topgan bo`lsa, uning ichki energiyasi U:

$$U = N\overline{E} \qquad (1)$$

bo`ladi. Bu yerda $\overline{E}$ -bitta molekulaga to`g`ri keluvchi o`rtacha kinetik energiya. Gaz bir atomli molekulalardan iborat bo`lsa, gaz molekulasining o`rtacha kinetik energiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\overline{E} = \frac{m\overline{J}^2}{2} = \frac{3}{2}kT \qquad (2)$$

Gazning umumiy energiyasi esa (1) formulaga asosan quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$U = \frac{3}{2}NkT \qquad (3)$$

Agar $N = \frac{m}{m} N_0$ ekanini e`tiborga olsak, ideal gazning ichki energiyasi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{m}RT \qquad (4)$$

Bu ifodadan ko`rinadiki, berilgan massali ideal gazning ichki energiyasi faqat temperaturaga bog`liq bo`ladi va u bosimga ham, hajmga ham bog`liq bo`lmaydi.

22§. ENERGIYANI ERKINLIK DARAJALARI BO`YICHA TENG TAQSIMOTI

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

Mexanik harakatning mustaqil tashkil etuvchilari soni erkinlik darajalari soniga teng bo`lganligi uchun kinetik energiyaning mustaqil tashkil etuvchilari soni ham erkinlik darajalari soniga teng bo`ladi. Bir atomli gaz molekulasi uchta erkinlik darajasiga ega bo`lgan moddiy nuqta deb qaraladi. Binobarin, bir atomli gaz molekulasining energiyasini uch hadning yig`indisi - molekulaning o`zaro perpendikulyar uch yo`nalish bo`ylab harakatining kinetik energiyalari yig`indisidan iborat deb qarash mumkin:

$$\frac{m\overline{J}^2}{2} = \frac{m\overline{J}_x^{\,2}}{2} + \frac{m\overline{J}_y^{\,2}}{2} + \frac{m\overline{J}_z^{\,2}}{2} = \frac{3}{2}kT \qquad (1)$$

Molekulyar harakatlar tamomila xaotik bo`lganligi sababli uch yo`nalish bo`yicha kinetik energiyalarning o`rtacha qiymatlari bir - biriga teng va shu sababli (1) tenglamaga asosan, bir atomli molekulaning har bir erkinlik darajasi uchun 1kT /2 ga teng energiya to`g`ri keladi.

Erkinlik darajalari soni uchdan ortiq bo`lgan ko`p atomli gazlar uchun ham (ma`lum sharoitlarda) bir atomli gazlar uchun yuqorida olingan xulosa to`g`ri bo`lib, bu xulosa teng taqsimot qonuni deb ataladi va bu qonun quyidagicha ta`riflanadi: Agar molekulalar T temperaturada issiqlik muvozanatida bo`lsa, u holda o`rtacha kinetik energiya barcha erkinlik darajalari bo`yicha tekis taqsimlanadi va molekulaning har bir erkinlik darajasi uchun bu energiya 1кT/2 ga teng.

Agar gaz molekulalarining erkinlik darajalari soni i ga teng bo`lsa, u holda teng taqsimot qonuniga binoan bunday gazning ichki energiyasi uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RT \qquad (2)$$

Tajriba va nazariya bir - biri bilan qattiq bog`langan atomlardan tashkil topgan molekulalar erkinlik darajalari soni uchun quyidagi qiymatlarni beradi: ikki atomli gaz uchun i=5 ga teng, ulardan 3 tasi ilgarilanma, ikkitasi aylanma erkinlik darajalaridir; uch va undan ortiq atomli gazlar uchun i=6 ga teng, ulardan 3 tasi ilgarilanma, 3 tasi aylanma erkinlik darajasiga mos keladi.

23§. ISH VA ISSIQLIK MIQDORI

Jismlarning ichki energiyasini, ya`ni ularning temperaturasini turli usullar bilan o`zgartirish mumkin. Ulardar biri jismni elektromagnit nurlanish yordamida qizdirish. Masalan, quyosh nurlari ostida turgan jismlar qiziydi. Ikkinchidan esa, jismning temperaturasini mexanikaviy ish bajarish yo`li bilan o`zgartirish usuli. Masalan, jismlarni bir biriga ishqalaganda yoki deformasiyalaganda ular qiziydi. Jismni qizdirish yoki sovutish usullaridan yana biri shundan iboratki, bunda jism o`zining temperaturasidan farq qiluvchi temperaturaga ega bo`lgan boshqa biror jism bilan kontaktga keltiriladi.

Kontakt usulida bir jismdan ikkinchi jismga energiya berish mexanizmi shundan iboratki, bunda bir biriga tegayotgan jismlarning zarralari o`zaro to`qnashuvlarda energiya almashadi, kuchli qizigan jism zarralari energiya yo`qotadi, kamroq qizigan jismning zarralari energiya oladi. Bunday yo`l bilan yoki nurlanish yo`li bilan, ya`ni mexanik ish bajarmay jismga uzatiladigan (yoki undan olinadigan) energiyaga **issiqlik miqdori** deyiladi. Issiqlik uzatishda ham ish bajariladi, ammo ishni makroskopik tartibdagi harakatlanayotgan jismlar emas, balki tartibsiz harakatlanuvchi mikrozarralar bajaradi.

24§. TERMODINAMIKANING BIRINCHI BOSH QONUNI

Agar gazga biror miqdor issiqlik uzatsak, u holda gaz kengayib ish bajaradi. Bunda bajarilgan ish qisman yoki butunlay unga uzatilayotgan energiya (issiqlik) hisobiga bo`lishi mumkin. Agar gaz kengaymasa, u holda gaz ish bajarmaydi va unga berilgan issiqlik miqdori gazning ichki energiyasini o`zgarishiga sarf bo`ladi. Sistemaga berilgan issiqlik miqdori dQ, bunda sistemaning bajargan ishi dA va uning ichki energiyasini o`zgarishi dU orasida quyidagi munosabat mavjud:

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

Bu tengalama tabiatning muhim qonuni bo`lib, mexanikaviy va issiqlik energiyasiga nisbatan energiyaning saqlanish qonunini ifodalaydi. Bu qonun termodinamikaning birinchi bosh qonuni deyiladi.

Shuni qayd qilish lozimki, jismning hajmi o`zgarganda bajargan ishi uning boshlang`ich holatdan oxirgi holatga o`tishida bo`lib o`tgan holatlari tartibiga bog`liq bo`ladi. Ichki energiya esa holat funksiyasi bo`lganligi uchun, uning o`zgarishi jismning bo`lib o`tgan oraliq holatlariga bog`liq bo`lmaydi. Shuning uchun holat parametrlari o`zgarishi cheksiz kichik bo`lmaganda (1) tenglamani quyidagi ko`rinishda yozish kerak:

$$\int_1^2 dQ = U_1 - U_2 + \int_1^2 dA \qquad (2)$$

Integral ostiga kirgan gaz hajmining cheksiz kichik o`zgarishida bajarilgan ish dA gaz bosimini uning hajmi o`zgarishi dV ga ko`paytirilganiga teng:

$$dA = PdV \qquad (3)$$

Quyida turli izojarayonlarda bajarilgan ishni aniqlash yo`llari bilan tanishib chiqamiz.

25§. IDEAL GAZ HAJMINI IZOBARIK VA IZOTERMIK O`ZGARISHIDA BAJARILGAN ISH

Gazning hajmi o`zgarganda bajarilgan ishni aniqlash uchun

$$A = \int_1^2 PdV \quad (1)$$

integralni hisoblash kerak.

Bosim o`zgarmas bo`lganda P ni integral tashqarisiga chiqarish mumkin. Bu holda izobarik jarayonda bajarilgan ish uchun quyidagi ifoda hosil bo`ladi:

$$A = P\int_1^2 dV = P(V_2 - V_1) \qquad (2)$$

Izotermik jarayonda gaz bosimi kengayish vaqtida uzluksiz o`zgargani uchun biz P ni integral tashqarisiga chiqara olmaymiz. Holat tenglamasidan foydalanib,

$$P = \frac{m}{m}\frac{RT}{V} \qquad (3)$$

ni (1) tenglamaga qo`ysak, gaz hajmi $V_1$ dan $V_2$ gacha o`zgarganda bajarilgan ishning ifodasini hosil qilamiz:

$$A = \frac{m}{m}RT\int_1^2 \frac{dV}{V} = \frac{m}{m}RT\ln\frac{V_2}{V_1} \qquad (4)$$

Izotermik kengayishda dU=0 bo`lgani uchun gazga berilgan issiqlik miqdori faqat tashqi ish bajarishga sarf bo`ladi. Aksincha, izotermik siqilishda tashqi kuchlarning ishi atrof jismlarning ichki energiyasini oshirishga ketadi.

26§. IDEAL GAZLARINING ISSIQLIK SIG`IMLARI

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

$$C_0 = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Modda massasining birligiga to`g`ri keluvchi issiqlik sig`imi **solishtirma issiqlik sig`imi** deyiladi. $C = \frac{C_0}{m} = \frac{dQ}{mdT}$ (2)

Moddaning bir moliga to`g`ri keluvchi issiqlik sig`imiga molyar issiqlik sig`imi deyiladi. Agar C_μ molyar issiqlik sig`imi bo`lsa, u holda solishtirma issiqlik sig`imi $C = \frac{C_m}{m}$ (3)

bo`ladi.

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

Bir mol gazni qizdirish uning hajmi o`zgarmas saqlangan sharoitlarda amalga oshirilayotgan bo`lsin. Bunga mos issiqlik sig`imini $C_{v\mu}$ deb belgilaylik. Ta`rifga ko`ra $C_{vm} = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$ (4)

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

$$C_{vm} = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v \quad (5)$$

bo`ladi. Ideal gaz bir molining ichki energiyasi $U = \frac{i}{2}RT$ (6)

bo`lganligi uchun (5) ga asosan molyar issiqlik sig`imi uchun quyidagi hosil bo`ladi: $C_{vm} = \frac{i}{2}R$ (7)

Isitish bosim o`zgarmas saqlangan sharoitlarda amalga oshayotgan bo`lsin. Bunga mos issiqlik sig`imi o`zgarmas bosimdagi issiqlik sig`imi deb ataladi va uni $C_{P\mu}$ bilan belgilasak: $C_{pm} = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ (8)

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

ni e`tiborga olib, (8) tenglamani quyidagidek qayta yozamiz:

$$C_{pm} = C_{vm} + P\left(\frac{dV}{dT}\right)_p \quad (9)$$

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

$$P\left(\frac{dV}{dT}\right)_p = R \quad (10)$$

Buni (9) tenglamada e`tiborga olsak, $C_{pm} = C_{vm} + R$ (11)

hosil bo`ladi (7) va (11) formulalaridan ko`rinadiki, o`zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig`imi o`zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig`imidan R kattalikcha ortiq bo`ladi:

$$C_{pm} - C_{vm} = R$$

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

27§. IDEAL GAZLAR ISSIQLIK SIG`IMLARI KLASSIK NAZARIYASINING YETARLI EMASLIGI. KVANT NAZARIYASI HAQIDA TUSHUNCHA

Gazlar issiqlik sig`imi (bir atomli gazlardan tashqari) bo`yicha klassik nazariya natijalari bilan tajriba orasidagi muhim farq shundan iboratki, tajribaga ko`ra issiqlik sig`imi temperaturega bog`liq, holbuki nazariya bo`yicha issiqlik sig`imi temperaturaga bog`liq bo`lmagan o`zgarmas kattalik bo`lishi kerak. Tajribaga ko`ra temperatura pasayganda ko`p atomli gazlarning issiqlik sig`imi bir atomli gazlarning issiqlik sig`imiga yaqinlashar ekan. Xuddi shunga o`xshash yuqori temperaturalarda issiqlik sig`imining ortishi kuzatiladi.

Bu kinetik energiyaning erkinlik darajalari bo`yicha teng taqsimlanishi haqidagi qonunning umumiy holda o`rinli emas ekanligidadir. Shu narsa diqqatga sazovorki, klassik nazariyaning muvaffaqiyatlari bu nazariyani ba`zi sistemalarga qo`llashda bu qonundan voz kechganligi bilan bog`liqdir. Masalan, klassik nazariya sistemaga ideal qattiq bog`lanishlar kiritish yo`li bilan ba`zi erkinlik darajalarini chiqarib tashlar edi.

Tajriba ma`lumotlarini tushuntirishdagi qiyinchiliklar issiqlik sig`imi nazariyasi kvant fizikasi asosida yaratilgandan so`ng bartaraf qilinadi. Biz bu yerda kvant fizikasi asosidagi ba`zi sifat jihatidan tushuntirish ustida to`xtalib o`tamiz. Buning uchun molekulalarning aylanish energiyasi va tebranish energiyalari

kvantlangan, ya`ni ular faqat diskret qiymatlarni qabul qila oladi deb faraz qilishning o`zi yetarli.

Faraz qilaylik aylanma harakat mavjud bo`lishi mumkin bo`lgan eng quyi sath ε_1 bo`lsin. Agar $kT<<\varepsilon_1$ bo`lsa, u holda molekulaning o`rtacha issiqlik energiyasi aylanishlarni uyg`otish uchun yetarli bo`lmaydi. Bunday holda issiqlik sig`imini hisoblashda aylanishlarni hisobga olmaslik mumkin. Aksincha bo`lganda, ya`ni $kT>>\varepsilon_1$ holda ko`plab aylanish sathlari uyg`onadi. Bu holda energiya sathlarining diskretligi issiqlik sig`imiga kam ta`sir ko`rsatadi va aylanishlar uchun kinetik energiyaning erkinlik darajalari bo`yicha teng taqsimlanishi haqidagi klassik qonunni qo`llash mumkin bo`lib qoladi. Xuddi shunga o`xshash mulohazalar ko`p atomli gazlarda tebranishlarni yuzaga kelish sharti bo`yicha ham o`rinli.

Xulosa qilib aytadigan bo`lsak, energetik sathlarning diskretligi energiyaning erkinlik darajalari bo`yicha teng taqsimlanishi haqidagi klassik qonun bilan mos tushmas ekan. Yuqori temperaturalarda, ya`ni ko`plab energetik sathlar uyg`ongan holatlarda sathlarning diskretligi ahamiyatga ega bo`lmaydi, bunda atom sistemasi o`zini energiyasi uzluksiz o`zgaradigan klassik sistema kabi tutadi.

28§. ADIABATIK JARAYON. PUASSON TENGLAMASI

Adiabatik jarayonda gaz atrof jismlardan issiqlik olmaydi ham, issiqlik bermaydi ham. U holda termodinamikaning birinchi qonuni, $dQ = 0$ bo`lgani uchun

$$dU + PdV = C_v dT + PdV = 0 \quad (1)$$

ko`rinishda bo`ladi.

Bu jarayonda gazning bajargan ishi ichki energiyaning o`zgarishi hisobiga bo`ladi:

$$dA = PdV = -C_v dT \quad (2)$$

yoki

$$A = C_v(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Shu sababli gaz hajmining ortishi bilan uning temperaturasi pasayadi, gaz hajmining kamayishi bilan esa uning temperaturasi ortadi.

Adiabatik jarayonda gazning hajmi bilan bosimi orasidagi bog`lanishni aniqlaylik. Buning uchun (1) tenglamadan T ni chiqarib tashlash kerak. Bunday amalni bir mol gaz uchun holat tenglamasi

$$PV = RT$$

ni differensiallab amalga oshiramiz:

$$PdV + VdP = RdT = (C_p - C_v)dT$$

u holda

$$PdV + VdP = RdT = (C_p - C_v)dT \quad (4)$$

hosil bo`ladi. dT ning bu qiymatini (1) ga qo`yib, quyidagini olamiz:

$$C_v VdP + C_p PdV = 0$$

Bu tenglamani quyidagi ko`rinishda yozib,

$$\frac{dP}{P} + \frac{C_p}{C_v}\frac{dV}{V} = 0$$

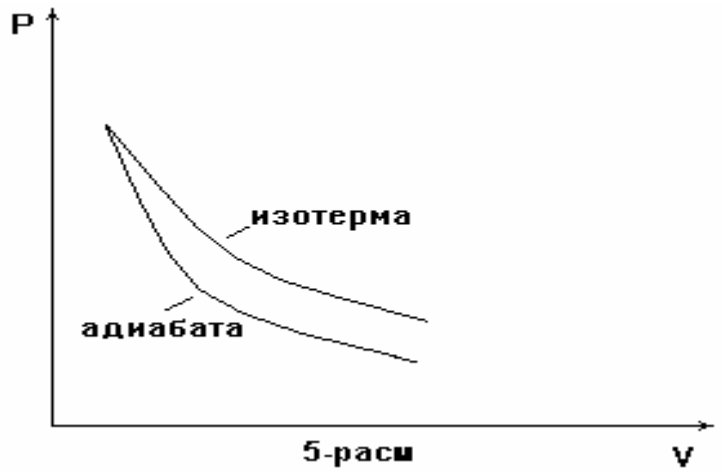
issiqlik sig`imlari nisbati $C_P / C_V$ ni $\gamma$ bilan belgilaymiz. U holda bu tenglama quyidagi ko`rinishga keladi:

$$\frac{dP}{P} + g\frac{dV}{V} = 0 \quad (5)$$

Oxirgi ifodani integrallash yo`li bilan $\ln P + g \ln V = 0$ yoki

$$PV^g = const \qquad (6)$$

ifodaga ega bo`lamiz. Adiabatik jarayonda gaz bosimi va hajmi orasidagi bog`lanishni ko`rsatuvchi (6) ifodaga Puasson tenglamasi yoki adiabata tenglamasi, $\gamma$ kattalik esa **adiabata ko`rsatkichi** deb ataladi.



5-расм

Puasson tenglamasidan ko`rinib turibdiki, izotermik jarayondan farqli ravishda, gaz hajmining adiabatik o`zgarishida uning bosimi hajmining birinchi darajasiga emas, balki V^g ga teskari proporsional o`zgaradi. $C_p > C_v$ bo`lganligi uchun $\gamma > 1$. Shu sababli adiabata izotermaga nisbatan tikroq bo`ladi (5-rasm).

29§. POLITROPIK JARAYON

Politropik jarayon deb issiqlik sig`imi C o`zgarmasdan qolib ro`y beradigan har qanday holat o`zgarishlariga aytiladi. Quyida politropik jarayonning umumiy tenglamasini topamiz.

Termodinamikaning birinchi qonuniga ko`ra

$$dQ = CdT = C_v dT + PdV$$

yoki

$$(C - C_v)dT = PdV \qquad (1)$$

Holat tenglamasi $PV = RT$ dan foydalanib dT ning ifodasini topamiz:

$$dT = \frac{PdV + VdP}{R} = \frac{PdV + VdP}{C_p - C_v}$$

Bu ifodani (1) qo`yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{C - C_v}{C_p - C_v}(PdV + VdP) = PdV$$

Bundan o`zgaruvchilarni ajratib va sodda o`zgartirishlarni amalga oshirib, quyidagini topamiz:

$$\frac{dP}{P} = -\frac{C - C_p}{C - C_v}\frac{dV}{V} \qquad (2)$$

Bunda

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

belgilash kiritib, (2) tenglamani integrallasak quyidagini olamiz:

$$\ln P + n \ln V = const$$

u holda

$$PV^n = const \qquad (3)$$

(3) tenglama biz izlayotgan politropik jarayon tenglamasi. Bu tenglamadagi n - politropa ko`rsatkichi deb ataladi.

Biz avval ko`rib o`tgan izotermik va adiabatik jarayonlarni politropik jarayonlarning chegaraviy hollari deb qarash mumkin. Haqiqatdan ham adiabatik jarayon uchun S= 0, shu sababli n $N = \gamma$ bo`ladi. Izotermik jarayonda $C = \infty$ bo`lgani uchun n=1 ekani kelib chiqadi.

Kontrol savollar

1. Issiqlik harakati nima?
2. Ichki energiya nima va u ideal gaz uchun nimalarga bog`liq?
3. Erkinlik darajalari soni nima?
4. Issiqlik miqdori nima?
5. Issiqlik sig`imi, molyar issiqlik sig`imi va solishtirma issiqlik sig`imi nima?
6. Issiqlik sig`imining temperaturaga bog`liqligi qanday tushuntiriladi?
7. Nima uchun $C_P > C_V$?
8. Adiabatik yoki politropik jarayonlar deb qanday jarayonlarga aytiladi?
9. Nima uchun izotermik jarayonda issiqlik sig`imi cheksiz katta?
10. Nima uchun adiabatik jarayonda issiqlik sig`imi nolga teng bo`ladi?
11. Gaz adiabatik kengayganda uning ichki energiyasi qanday o`zgaradi Adiabatik siqilganda esa qanday o`zgaradi?

Masalalar

1-masala. Agar tashqaridagi havoning bosimi o`zgarmas qolsa, u holda binodagi havoning ichki energiyasi temperaturaga bog`liq bo`lmasligini ko`rsating. Havoni ideal gaz deb hisoblang.

2-masala. Ideal gaz o`zgarmas bosimda kengaysa, u soviydimi yoki isiydimi?

3-masala. Agar azot uchun C_P/C_V nisbat 1,47 ga tengligi ma`lum bo`lsa, uning dissotsiasiya darajasi nimaga teng. Javobi: α=23%.

4-masala. 16 g geliy va 32 g kisloroddan iborat bo`lgan gaz aralashmasi uchun C_P/C_V nisbat topilsin. Javobi: $g = 1{,}59$

5-masala. Normal sharoitda 2 l hajmli yopiq idishda m gramm azot va m gramm argon bor. Bu gaz aralashmasini 100^0 ga isitish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak. Javobi: Q=155 Ж.

6-masala. Politropa ko`rsatkichining qanday qiymatlarida ideal gaz siqilishida qiziydi, qanday qiymatlarida soviydi Javobi: $N>1$ bo`lganda qiziydi, $N<1$ bo`lganda soviydi.

7-masala. Past tomoni berk uzun vertikal silindrik nayda massasi m ga teng bo`lgan porshen ishqalanishsiz harakatlanishi mumkin. Muvozanat holatida porshen bilan nayning tubi orasidagi masofa l ga teng bo`lsa, porshenning muvozanat holatidan chetlashishlarida paydo bo`ladigan kichik tebranishlar davrini

toping. Gazni ideal, jarayonni izotermik deb faraz qiling. Nayning ko`ndalang kesim yuzi S ga teng, normal atmosfera bosimi P_0. Javobi: $T = 2p\sqrt{\frac{ml}{mg + P_0^{/}S}}$

8-masala. 3000kVt quvvatli turbogenetaratorni havo oqimi sovutib turadi. Agar generatorning f.i.k. ti 94%, generatordan qaytib chiqadigan havoning temperaturasi 50^0S dan ortmasligi kerak bo`lsa va mashina validagi havo temperaturasi $20^0$S, havo bosimi 750mm. sim.ust. ga teng bo`lsa, unda 1 sekund ichida generator ichiga qancha hajmidagi havo kirib chiqishi zarur. Javobi 5 m3 va 5,5m3 atrofida.

9-masala. Kerosin bilan ishlaydigan dvigatel silindrida yonuvchi aralashma tez yonadi. Agar yonish kamerasining xajmi 10l yonishdan oldingi bosim 50 NG`$sm^2$ temperatura $210^0$S Aralashma tarkibida kenrosin miqdori 0,9g yonish mahsulotlarining issiqlik sig`imi 0,17 kalG`g.grad yonuvchi aralashmaning o`rtacha molekulyar og`irligi 29,4 gG`mol kerosinning issiqlik berish qobiliyati 1000 kalG`g bo`lsa, u holda yonishdan so`nggi temperatura va bosimi qancha былади? Жавоби: 1690^0C 200N/$см^2$.

10-masala. t_1 =15^0C temperaturadagi qandaydir miqdorda azot qamalgan idish V= 100 m /s tezlik bilan harakatlanib boradi. Agar idish to`satdan to`xtab qolsa va idish devoriga beriladigan issiqlik miqdori nazarga olinmasa, unda idishdagi gazning temperaturasi qancha bo`ladi Javobi: 22^0C.

11-masala. Argon uchun γ=1,68 ga teng. Agar boshlang`ich bosim 1 atm bo`lsa, bu gazning 1 litr hajmdan 2 litr hajmgacha adiabatik kengayishi natijasida hosil bo`lgan bosimini aniqlang. Javobi: 31,2 кПА.

12-masala. Ideal gaz adiabatik qobiq ichida P_1 bosim ostida bo`lib, $T_1$ temperaturaga ega. Gazga ta`sir etuvchi tashqi bosim sakrashsimon P_2 qiymatgacha o`zgarganda qaror topadigan gaz temperaturasi T_2 ni aniqlang.

Javobi: $T = \left[\frac{1 + (g-1)(P_2 - P_1)}{g\ P_2}\right]T_1$

IV BOB. GAZLARDA KO`CHISH HODISALARI

30§. MOLEKULYAR HARAKATLAR VA KO`CHISH HODISALARI

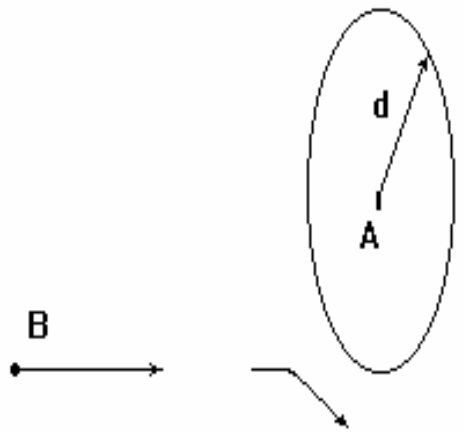
Muvozanat holatida gazning (gazlar aralashmasining) temperaturasi, bosimi, molekulalar konsentrasiyasi hajmning hamma yerida birday bo`ladi. Muvozanat holatda bo`lgan gazni muvozanat holatidan chiqarib, o`z holiga qo`yilsa, bir muncha vaqt o`tgandan so`ng gazning muvozanati tiklanadi. Muvozanat holatiga o`tish ko`chish hodisalari deb ataluvchi hodisalar orqali amalga oshadi.

Buni misollar orqali tushuntiraylik. Agar muvozanatdagi gazning biror qismi isitilsa, gazning muvozanati buzilgan bo`ladi. Bunda gazning issiqroq bo`lgan qismidan sovuqroq bo`lgan joyiga energiya ko`chishi ro`y beradi.

Biror hajmni egallagan gazga boshqa gazni qo`shsak, biror vaqt o`tgach, aralashmaning butun hajm bo`yicha tarqalishini va gazning bir jinsli bo`lib qolishini tajriba ko`rsatadi. Konsentrasiyaning bunday tenglashishi aralashma molekulalarining bu molekulalar kam bo`lgan yo`nalishida siljishi tufayli yuzaga keladi va issiqlik harakati tufayli yuzaga keluvchi bu hodisaga **diffuziya** deb ataladi.

Nihoyat, gazning muvozanatini uning bir qismiga qo`shni qismlariga nisbatan oqim tezligi berish yo`li bilan buzish mumkin. Bu holda gazning tez harakatlanayotgan qismlaridan sekin harakatlanayotgan qismlariga impulñ ko`chishi ro`y beradi. Bu hodisa ichki ishqalanish yoki **qovushoqlik** deb ataladi.

Gaz molekulalari tezliklarining katta bo`lishiga qaramay gazning muvozanat holatiga o`tishi "sekin" yuz beradi. Buni molekulalarning o`zaro to`qnashuvlari oqibati deb tushuntirilishi mumkin. To`qnashish paytida molekula tezligining kattaligi va yo`nalishi o`zgarib turadi. Natijada molekulaning traektoriyasi to`g`ri chiziq emas, balki ko`p sonli siniq chiziqlardan iborat bo`ladi. Molekula har tarafga tartibsiz harakat qiladi va uning olg`a umumiy siljishi nisbatan sekin yuz beradi.



6-расм

Zarralarning to`qnashuvlari bilan bog`liq hodisalarni miqdoriy harakterlash uchun to`qnashuvlarning **effektiv kesim yuzi** deb ataluvchi tushuncha kiritiladi.

To`g`ri chiziqli harakatlanayotgan B zarrani ko`z oldimizga keltiraylik (6-rasm). Bu zarraning boshqa A zarra bilan to`qnashuvi yuz berishi uchun B zarra A zarraga yetarlicha yaqin, masalan d masofadan katta bo`lmagan masofada uchib o`tishi kerak deb faraz qilaylik. Agar A zarra atrofida tekisligi B zarraning harakat yo`nalishiga per-pendikulyar bo`lgan d radiusli doira chizsak, bu doiraning yuzi $\sigma=\pi D^2$ zarraning (molekulaning) effektiv kesim yuzi deb ataladi. Agar molekula huddi shunday molekulalar bilan to`qnashib sochilayotgan bo`lsa va molekulalarning to`qnashuvlarini qattiq elastik sharlarning to`qnashuvlari deb faraz qilsak, bunda d molekulaning diametri bo`ladi. Agar r radiusli molekula $r_2$ radiusli molekulalarda sochilayotgan bo`lsa, u holda $d= r_1+ r_2$ bo`ladi.

31§. MOLEKULALARNING O`RTACHA ERKIN YUGURISH YO`LI

Molekulaning ikki ketma-ket to`qnashuvlari orasida bosib o`tgan masofasi molekulaning **erkin yugurish yo`li** deb ataladi. Erkin yugurish yo`li o`zgarib turganligi uchun bizni o`rtacha erkin yugurish yo`li qiziqtiradi.

Hisoblashlarni soddalashtirish uchun faqat bir molekula o`zgarmas $\bar{J}$ tezlik bilan harakatlanadi, boshqa molekulalar qo`zg`almas deb faraz qilamiz. U holda bu molekula bir sekund ichida o`rtacha $\bar{J}$ tezlikka teng masofani o`tib, o`z yo`lidagi barcha molekulalar bilan to`qnashadi. Bu molekulalar uzunligi $\bar{J}$ va asosining yuzi to`qnashish effektiv kesim yuziga teng bo`lgan silindr ichida joylashgan barcha molekulalar o`rtacha soniga teng, ya`ni

$$Z = ns\bar{J} \qquad (1)$$

bo`ladi, bunda n - hajm birligidagi molekulalar soni.

Gazning bitta molekulasi emas barcha molekulalari harakatlanishini e`tiborga olsak, u holda (1) formuladagi $\bar{J}$ o`rnida nisbiy tezlik $J_{нис}$ olinishi kerak:

$$J_{нис} = \sqrt{2}\bar{J} \qquad (2)$$

U holda molekulaning vaqt biriligi ichidagi o`rtacha to`qnashuvlari soni uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$Z = \sqrt{2} n s \bar{J} \qquad (3)$$

Molekulaning birlik vaqt ichida o`tgan yo`li $\bar{J}$ ni to`qnashuvlarning o`rtacha soniga bo`lib, molekulaning o`rtacha erkin yugurish yo`li uzunligini topamiz:

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{ns} \qquad (4)$$

(4) formuladan ko`rinadiki, erkin yugurish yo`li konsentrasiyaga teskari proporsional. Demak, u gazning bosimi p ga ham teskari proporsional.

32§. DIFFUZIYA VA MODDA KO`CHISHI

Bir-biriga tegib turgan ikki yoki bir necha modda molekulalarining issiqlik harakati tufayli bir-birining ichiga singib o`tish hodisasi **diffuziya** deb ataladi. Gaz tarkibi jihatidan bir jinsli bo`lmagan hollarda ham, ya`ni u konsentrasiyasi nuqtadan nuqtaga o`zgaruvchi ikki yoki bir necha komponentadan tarkib topgan hollarda ham gazda diffuziya vujudga keladi. Diffuziya jarayonida aralashma konmponentalaridan har biri gazning bu komponenta konsentrasiyasi katta bo`lgan qismlaridan konsentrasiyasi kichik bo`lgan qismlariga o`tishi ro`y beradi.

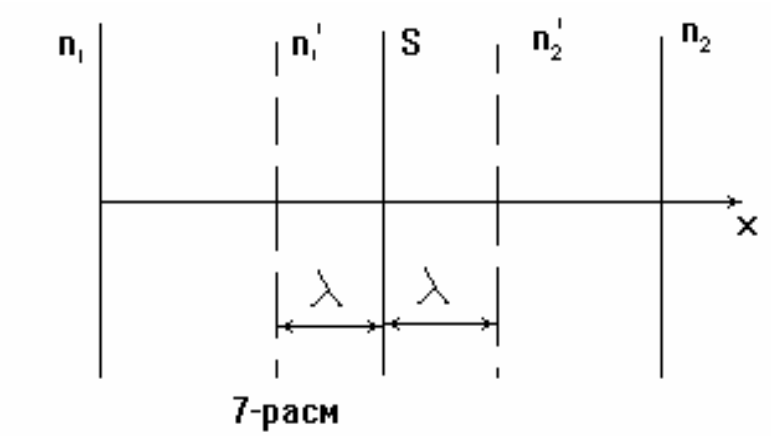
Diffuziya hodisasini miqdoriy tavsiflash uchun diffuziya oqimi tushunchasi kiritilgan. **Diffuziya oqimi** diffuziyalanuvchi komponentaning vaqt biriligi ichida diffuziya yo`nalishiga perpendikulyar bo`lgan yuza birligidan o`tgan molekulalar soni bilan o`lchanadi.

Tajribalar biror komponentaning diffuziya oqimi shu komponenta konsentrasiyasi (zichligi) gradiyentiga proporsional ekanligini ko`rsatadi (Fik qonuni). Agar gaz aralashmasining, bizni qiziqtirgan komponentasining, konsentrasiyasi faqat X yo`nalish bo`ylab o`zgarsa, u holda konsentrasiya gradiyenti, ya`ni konsentrasiyaning X yo`nalish bo`ylab o`zgarish tezligi dn/dx bo`ladi va diffuziyaning asosiy qonuni (Fik qonuni) shunday ifodalanadi:

$$N = -D\frac{dn}{dx} \qquad (1)$$

bundagi D -**diffuziya koeffitsiyenti** deb ataladi. U konsentrasiya gradiyenti bir birlikka teng bo`lgandagi diffuziya oqimiga son jihatdan teng bo`lgan kattalikdir.

Diffuziya stasionar yoki nostasionar bo`lishi mumkin. Stasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o`zgarmay qoladi. Shu sababli diffuziya oqimi ham o`zgarmaydi. Nos-tasionar diffuziyada konsentrasiya gradiyenti o`zgaradi.



7-расм

Shunga muvofiq ravishda vaqt o`tishi bilan diffuziya oqimi ham o`zgaradi.

33§. STATSIONAR DIFFUZIYA. DIFFUZIYA KOEFFITSIYENTINI HISOBLASH

Gaz aralashmalaridan birining diffuziyasi X yo`nalishda ro`y berayotgan bo`lsin. Bu yo`nalishda konsentrasiya gradiyenti vaqt o`tishi bilan o`zgarmasdan qolsin. Bunday holdagi diffuziya, ya`ni ixtiyoriy ikki nuqta orasidagi konsentrasiyalar farqi o`zgarmasdan qoladigan holda yuz beradigan diffuziyaga **stasionar diffuziya** deb ataladi.

Stasionar diffuziyadan foydalanib, diffuziya koeffitsiyentini topishga harakat qilamiz. Diffuziya yo`nalishiga (X ga) perpendikulyar bo`lgan S yuzani olaylik (7-rasm). Aniqlik uchun $n_1>n_2$ deb olaylik. Yuzaning har ikki tomonidagi konsentrasiyalar farqi tufayli X o`qi bo`ylab yuzaga keluvchi diffuziya oqimi S yuzaning 1 sm^2 ni 1 c da X o`qning musbat qiymatlari yo`nalishida kesib o`tayotgan molekulalar soni $N_1$ bilan ana shu vaqt ichida qarama-qarshi yo`nalishda kesib o`tayotgan molekulalar soni $N_2$ orasidagi ayirmaga teng bo`ladi:

$$N = N_1 - N_2 \qquad (1)$$

Agar barcha molekulalar birday $\bar{J}$ tezlik bilan harakat qilmoqda deb olinsa, u holda molekulalarning harakati barcha o`qlar bo`ylab teng ehtimolli ekanini hisobga olib, N_1 va N_2 larni quyidagi munosabatlar orqali ifodalash mumkin:

$$N_1 = \frac{1}{6} n_1^{/} \bar{J} \qquad N_2 = \frac{1}{6} n_2^{//} \bar{J}$$

Bu yerda $n_1^{/}$ va $n_2^{//}$ molekulalarning S yuzaning ikki tomonidan $\bar{l}$ masofadagi konsentrasiyalari.

U holda diffuziya oqimi N_1 (1) va (2) tenglamalarga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$N = \frac{1}{6}(n_1^{/} - n_2^{//})\bar{J} \qquad (3)$$

bu yerda $n_1^{/}$ - $n_2^{//}$ bir-biridan $2\bar{l}$ masofada turgan nuqtalardagi konsentrasiyalar farqi. Agar konsentrasiya gradiyenti qiymati $\frac{dn}{dx}$ bo`lsa, bu farq

$$n_1^{/} - n_2^{//} = -2\bar{l}\,\frac{dn}{dx} \qquad (4)$$

ga teng bo`ladi. (4) ni e`tiborga olib, diffuziya oqimi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz: $N = -\frac{1}{3} l J \frac{dn}{dx}$

Bu ifodani Fik qonuni ifodasi $N = -D\frac{dn}{dx}$ bilan taqqoslab diffuziya koeffitsiyenti uchun bizni qiziqtirgan ifodani olamiz: $D = \frac{1}{3}\overline{J}\,\overline{l}$

Bu ifodadagi $\overline{l}$ bosimga teskari proporsional bo`lganligi uchun diffuziya koeffitsiyentining ham gaz bosimiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi. $\overline{J}$ $\sqrt{T}$ ga proporsional, bundan tashqari temperaturaning ortishi $\overline{l}$ ning biroz bo`lsada ortishiga olib keladi. Shu sababli diffuziya koeffitsiyenti $\sqrt{T}$ dan kattaroq bo`lgan miqdorga proporsional.

34§. GAZLARNING QOVUSHOQLIGI. QOVUSHOQLIK KOEFFITSIYENTINI HISOBLASH

Agar gaz qo`shni qatlamlarining tezliklari turlicha bo`lsa, bu qatlamlar orasida ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Gazlarda (suyuqliklarda) qo`shni qatlam tezliklari farqi tufayli yuzaga keluvchi ishqalanish kuchlari ichki ishqalanish yoki qovushoqlik kuchlari deyiladi. Qovushoqlik kuchlarining yuzaga kelishiga sabab shuki, qatlamlararo molekulalar almashinuvi tufayli harakat tezligi katta bo`lgan qatlamdan kichik tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamga impulñ uzatilishi ro`y beradi. Natijada tezroq harakatlanayotgan qatlam tezligi kamaya boradi, sekinroq harakat qilayotgan qatlam tezligi esa orta boradi.

Ma`lumki, jism harakat miqdorining o`zgarishi biror kuch ta`siri bilan bog`liq. Biz yuqorida ko`rgan protsess ham impulñning o`zgarishi bilan bog`liq bo`lgani sababli gaz o`zini huddi unga biror kuch ta`sir qilayotgandek tutadi.

Agar tashqi kuchlar yordamida gazning turli qatlamlarining harakat tezliklari orasidagi farq o`zgarmas saqlab turilsa, u holda qatlamdan qatlamga o`tuvchi impulñ oqimi ham o`zgarmas (stasionar) bo`ladi, shu bilan birga bu oqim tezlikning kamayish yo`nalishi bo`ylab yo`nalgan bo`ladi.

Gaz harakatining tezligi fakat X yo`nalishida o`zgarayotgan bo`lib, uning yo`nalishi X o`qqa perpendikulyar bo`lsin. U holda X o`qqa perpendikulyar bo`lgan birlik yuzadan 1c ichida olib o`tilgan harakat miqdori quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

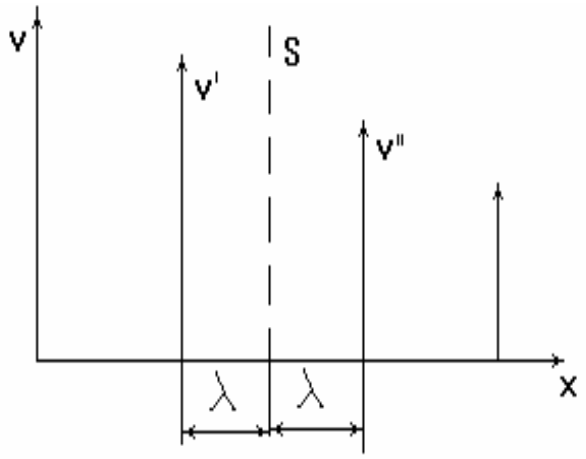
$$L = -h\frac{dJ}{dx} \quad (1)$$

bu yerda $\frac{dJ}{dx}$-tezlikning X o`q bo`ylab gradiyenti bo`lib, tezlikning uzunlik birligiga to`g`ri keluvchi o`zgarishini bildiradi. η- koeffitsiyent gazning **<u>qovushoqlik koeffisiyenti</u>** yoki gazning ichki ishqalanish koeffitsiyenti deb ataladi.

Qovushoqlik koeffitsiyentining fizikaviy ma`nosi shundan iboratki, u son jihatidan tezlik gradiyenti birga teng bo`lganda birlik yuzadan vaqt birligi ichida shu yuzaga perpendikulyar yo`nalishda ko`chirib o`tilgan harakat miqdoriga teng.

Gazning qovushoqlik koeffitsiyentini diffuziya koeffitsiyentini hisoblagandagi usul bilan aniqlash mumkin.

Gazning oqish tezligiga parallel bo`lgan kichik S yuzani ko`raylik (8-rasm).



8-расм

Gazning oqish tezligi X o`qning musbat yo`nalishida kamayadigan, ya`ni uning S yuzadan o`ng tomonda oqish tezligi yuzidan chap tomondagi oqish tezligidan kichik bo`lsin.

Agar S dan chap tomonda λ ga teng masofadagi oqish tezligi J' bo`lsa, u holda molekulaning oqish tezligi bilan bog`liq bo`lgan impulñi $mJ'$ ga teng bo`ladi (m- molekula massasi). Vaqt birligi ichida birlik yuzini kesib o`tuvchi molekulalar soni $\frac{1}{6}n\overline{J}$ ga teng ekanligini e`tiborga olsak, shu vaqt ichida S maydonning yuz birligidan chapdan o`ngga va o`ngdan chapga ko`chib o`tayotgan impuls oqimi mos ravishda quyidagilarga teng bo`ladi:

$$L_1 = \frac{1}{6}n\overline{J}\, mJ^{/} \qquad L_2 = \frac{1}{6}n\overline{J}\, mJ^{//} \quad (2)$$

U holda vaqt birligida yuz birligi orqali o`tuvchi natijaviy impuls oqimi L quyidagiga teng bo`ladi:

$$L = L_1 - L_2 = m\overline{J}n(J^{/} - J^{//}) \quad (3)$$

bu yerda $J^{/} - J^{//}$ gazning bir-biridan $2\overline{l}$ ga teng masofada bo`lgan nuqtalardagi oqish tezliklarining farqi, ya`ni

$$J^{/} - J^{//} = -2l\frac{dJ}{dx} \quad (4)$$

(3) va (4) dan

$$L = -\frac{1}{3}mn\overline{J}\,\overline{l}\,\frac{dJ}{dx}$$

Bu ifodani (1) formula bilan solishtirib, qovushoqlik koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani olamiz $h = \frac{1}{3}mn\overline{J}\,\overline{l}$ yoki $h = \frac{1}{3}r\overline{J}\,\overline{l}$

bu yerda $r = mn$ - gazning zichligi.

35§. GAZLARNING ISSIQLIK O`TKAZUVCHANLIGI. ISSIQLIK O`TKAZUVCHANLIK KOEFFITSIYENTINI HISOBLASH

Agar gaz notekis isitilsa, ya`ni uning bir qismida temperatura ikkinchi qismidan katta bo`lsa, u holda gazning issiqroq qismidan sovuqroq qismiga issiqlik oqishi hosil bo`ladi. Bu hodisa issiqlik o`tkazuvchanlik deyiladi.

Gazda biror yo`nalishda, masalan x o`qi bo`ylab temperatura o`zgarayotgan bo`lsin, issiqlik oqimining yo`nalishi temperaturaning pasayish yo`nalishi bilan mos keladi va u temperatura gradiyentiga proporsional bo`ladi (Fure qonuni):

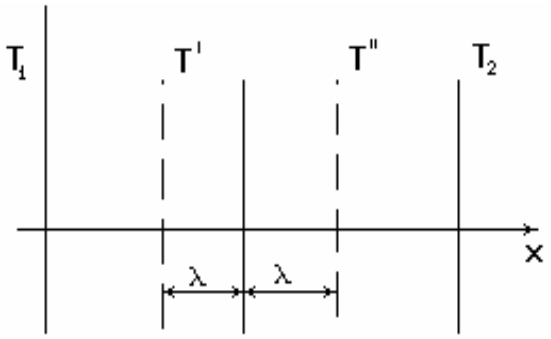
$$Q = -K\frac{dT}{dX} \quad (1)$$

bu yerdagi K- **issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti** deb ataladi.

Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti son jihatdan temperatura gradiyenti bir birlikka teng bo`lgandagi issiqlik oqimiga teng.

Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyentini ham diffuziya va qovushoqlik koeffitsiyentlarini hisoblagandagi usullar bilan topish mumkin.

Temperaturalar farqi o`zgarmas saqlanadigan (stasionar issiqlik o`tkazuvchanlik) X o`qqa perpendikulyar biror S yuzni ko`raylik (9-rasm). Temperatura gradiyenti faqat shu yo`nalishda mavjud bo`lsin va $T_1>T_2$ deb faraz qilaylik.



9-расм

Bosim barcha nuqtalarda birday bo`lsa, u holda S yuzni 1 sekund ichida chapdan o`ngga va o`ngdan chapga kesib o`tuvchi molekulalar soni birday bo`ladi. Biroq chapdan kelayotgan molekulalar energiyasi ko`proq bo`ladi.

Diffuziya va qovushoqlik koeffitsiyentini hisoblashda birlik yuzni vaqt birligi ichida kesib o`tuvchi molekulalar soni $\frac{1}{6}n\bar{J}$ ga teng deb olingan edi. Bu yerda ham shu ifodani ishlatish mumkin. Chapdan o`ngga va o`ngdan chapga kesib o`tuvchi molekulalar energiyasini mos ravishda U_1 va U_2 deb belgilasak, u holda birlik yuz orqali birlik vaqt ichida chapdan va o`ngdan olib o`tilayotgan energiyalar mos ravishda quyidagilarga teng bo`ladi:

$$Q_1 = \frac{1}{6}n\bar{J}U_1 \qquad Q_2 = \frac{1}{6}n\bar{J}U_2 \quad (2)$$

Bundan birlik yuzdan vaqt birligi ichida oqib o`tayotgan natijaviy energiya miqdori

$$Q = Q_1 - Q_2 = \frac{1}{6}n\bar{J}(U_1 - U_2) \quad (3)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu yerda U_1 va U_2 -bir-biridan $2\bar{l}$ masofada bo`lgan nuqtalardagi T' va T" temperaturalarga mos bitta molekula energiyasining o`rtacha qiymati.

Bitta molekulaning o`rtacha energiyasi

$$U = \frac{ikT}{2}$$

ni gazning solishtirma issiqlik sig`imi S_v orqali ifodalash mumkin:

$$U = \frac{C_{vm}T}{N_0} = \frac{C_{vm}T}{N_0} = mC_vT \qquad (4)$$

bu yerda m-molekula massasi, N_o - Avogadro soni. U holda (3) dagi Q ning ifodasini shunday yozish mumkin:

$$Q = \frac{nm\bar{J}C_v(T' - T'')}{6} \qquad (5)$$

Bundagi T'-T" ni temperatura gradiyenti orqali aniqlash mumkin:

$$T' - T'' = -\frac{2\bar{l}\,dT}{dX} \quad (6)$$

Buni (5) ifodaga qo`ysak, Q ning ifodasi quyidagicha bo`ladi:

$$Q = -\frac{1}{3} nmJC_v \bar{l}\,\frac{dT}{dX} \qquad (7)$$

(1) va (7) ifodalarni solishtirib, issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$K = \frac{1}{3} nmJ\,l\,C_v = \frac{1}{3} r\bar{J}\bar{l}C_v$$

Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti bosim va temperaturaga qovushoqlik koeffitsiyenti qanday bog`liq bo`lsa, huddi shunday bog`liq.

Kontrol savollar

1. Ko`chish xodisalarining yuzaga kelish sabablari nimalardan iborat?
2. Erkin yugurish yo`li nima ?
3. Biron bir kattaliklarning gradiyenti nima?
4. Diffuziya nima ?
5. Diffuziya oqimi nima ?
6. Diffuziya koeffitsiyenti nima ?
7. Qovushoqlik koeffitsiyenti nima ?
8. Issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti nima ?
9. Ko`chish koeffitsiyentlari temperatura va bosimga qanday bog`langan?
10. Ichki ishqalanish koeffitsiyentining bosimga bog`liq bo`lmasligining sababi nimada ?

Masalalar

1-masala. Ikki molekulaning o`rtacha nisbiy harakat tezligi, bunda-idish devorlariga nisbatan o`rtacha tezlik. Shunga asosan ikki molekula tezligi orasidagi burchakning o`rtacha qiymati haqida qanday xulosa chiqarish mumkin Javobi: 90^0

2-masala. Cho`g`lanma lampaning metall tolasi sirtiga tushayotgan har bir kislorod molekulasi adsorbsiyalanadi deb hisoblab, tola sirtida kislorodning monomolekulyar qatlami hosil bo`lishiga qancha vaqt talab etilishini hisoblang. Kislorodning bosimi $1{,}33\cdot10^{-3}$ Pa, temperaturasi 27^0C va har bir kislorod molekulasi tola sirtida $9\cdot10^{-20}$ м^2 yuzani egallaydi deb hisoblansin.

Javobi: t=0,31 c

3-masala. Normal sharoitda azotning o`rtacha erkin yugurish yo`li $6\cdot10^{-6}$ sm ga teng. Biror miqdordagi azot normal sharoitdan 300^0C temperaturali holatga o`tgan. Agar o`tish quyidagicha a) izoxorik; b) izobarik; v) adiabatik tarzda amalga oshirilsa, unda azotning yangi holatidagi erkin yugurish yo`li qancha

Javobi: a) $6\cdot10^{-6}$ sm; b) $12{,}5\cdot10^{-6}$ sm; v) $9{,}4\cdot10^{-7}$ sm.

4-masala. Idishda zichligi 1,7 kg/m^3 va molekulalarning o`rtacha erkin yugurish yo`li uzunligi $7{,}9\cdot10^{-6}$ sm ga teng bo`lgan karbonat angidrid gazi bor. Karbonat angidrid gazi molekulalarining diametri topilsin. Javobi: $3{,}5\cdot10^{-10}$ м.

5-masala. Razryad nayida katod bilan anodning oralig`i 15 sm ga teng. Elektronlar katod bilan anod oralig`idagi yo`lda havoning molekulalari bilan to`qnashmasligi uchun razryad nayida qanday bosim hosil qilish kerak. Temperatura 300 K ga, havo molekulari diametri 0,30 nm ga va gazda elektronlarning o`rtacha erkin yugurish yo`li uzunligi gaz molekulalarining o`rtacha erkin yugurish yo`lidan 5,7 marta katta deb hisoblansin. Javobi: P<0,5 Pa.

6-masala. Ikki atomli gazning hajmi: a) izotermik; b) izobarik; v) adiabatik ravishda ikki marta kichrayganda, uning qovushoqlik koeffitsiyenti qanday o`zgaradi Javobi: a) o`zgarmaydi; b) 1,41 marta kamayadi; v) 1,15 marta ortadi.

7-masala. Dyar idishining devolari orasidagi masofa 8 mm ga teng. Havosi so`rib olinayotganda, qanday bosimdan boshlab Dyar idishining devorlari orasidagi havoning issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti kamayib boradi Havoning temperaturasini 17^0C ga, molekulasining diametrini 0,30 nm ga teng deb olinsin. Javobi: P=1,26 Pa

8-masala. Oralaridagi masofa 1 mm bo`lgan ikkita plastinaning orasida havo bor. Plastinalar orasida 1 K temperaturalar farqi doimiy saqlanadi. Har bir plastinaning yuzi 100 $sm^2$ ga teng. Issiqlik o`tkazuvchanlik tufayli bir plastinadan ikkinchisiga 10 minut davomida qancha issiqlik miqdori o`tadi Javobi: Q 78 J.

9-masala. Tashqi radiusi 10 sm , ichki radiusi 9 sm va balandligi 20 sm bo`lgan silindrik termos muz bilan to`ldirilgan. Muzning temperaturasi 0^0C ; Tashqaridagi xavoning temperaturasi esa 20^0C. 1) Termosning ichki devori orasidagi xavoning bosimi eng ko`pi bilan qanday bo`lganda issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti bosimga bog`liq bo`lmay qoladi? Xavo molekulasining diametri $3\cdot10^{-8}$sm ga teng. Termos devorlari orasidagi xavoning temperaturasini esa muz va tashqi muhit temperaturalarining o`rtacha arifmetik qiymatiga teng deb olinsin. 2) Bosim: a) 760 mm.sim.ust. ga va b) 10^{-4} mm.sim.ust.ga teng bo`lganda termos devorlari orasidagi xavoning issiqlik o`tkazuvchanlik koeffitsiyenti topilsin. 3) Issiqlik o`tkazuvchanlik tufayli 9,5 sm o`rtacha radiusli termosning yon sirtidan bir minut davomida qancha issiqlik miqdori o`tadi?

Masala a) 760 mm.sim.ust. va b) 10^{-4} mm.sim.ust. bosimlar uchun yechilsin.

Javobi: 1) $7,6\cdot10^{-3}$mm.sim.ust; 2) a) $13,1\cdot10^{-3}$ VtG` .grad;

b) $17,8\cdot10^{-5}$ VtG` .град. 3) a) 188 Ж. б) 25,5 Ж.

9-masala. Uzunligi 20 sm va ko`ndalang kesim yuzi 3 $sm^2$ bo`lgan po`lat sterjenning bir uchi $300^0$C temperaturagacha qizdirilmoqda, ikkinchi uchi esa muzga tekkazilgan. Issiqlik faqat sterjenning uzunligi bo`ylab uzatiladi deb faraz qilib, 10 minut ichida erigan muz massasi m ni hisoblab toping. Javobi: m = 56 g.

10-masala. Radiuslari R_1 va R_2 bo`lgan ikki koaksial silindr orasidagi bo`shliq issiqlik o`tkazuvchi bir jinsli modda bilan to`ldirilgan. Agar ichki silindrning tempera-turasi T_1, tashqi silindrniki T_2 bo`lsa, ular orasidagi fazoda temperatura taqsimotini aniqlang.

Javobi: $$T(R) = T_1 - \frac{(T_1 - T_2)\ln\frac{R}{R_1}}{\ln\frac{R_2}{R_1}}$$

V BOB. TERMODINAMIKA ELEMENTLARI

36§. JARAYONLAR. MUVOZANATLI VA MUVOZANATSIZ JARAYONLAR

Sistemaning birin-ketin keladigan holat o`zgarishlari orqali bir holatdan ikkinchi holatga o`tishiga jarayon deyiladi. Sistema muvozanat holatda bo`lganida uning holatini xarakterlovchi makroskopik parametrlar vaqt o`tishi bilan o`zgarmaydi. Bu holat eng maksimal ehtimollikka mos keluvchi holat bo`ladi. U yoki bu sabab bilan muvozanat holatidan chiqarilgan sistema o`z holiga qo`yilsa, u albatta muvozanat holatini tiklashga intiladi. Sistemaning muvozanat holatiga o`tish vaqti **relaksasiya vaqti** deyiladi.

Sistema bir holatdan ikkinchi holatga birin-ketin keluvchi oraliq holatlar orqali o`tadi. Agar sistemaning bir holatdan ikkinchi holatga o`tishi sekinlik bilan amalga oshsa, sistema o`zining oraliq holatlarida ham muvozanatga kelishga ulgaradi. Bunday jarayonga muvozanatli jarayon deyiladi. Buning uchun sistemaning oraliq holatlarga o`tish vaqtlari bundagi muvozanatni tiklanishi uchun ketadigan vaqtdan, ya`ni relaksasiya vaqtidan katta bo`lishi kerak.

Muvozanat holatda yoki muvozanatli jarayonda sistemani xarakterlovchi parametrlar sistemaning turli nuqtalarida birday qiymatga ega bo`ladi. Muvozanatsiz jarayonda esa sistemani xarakterlovchi parametrlar sistemaning turli nuqtalarida har xil qiymatga ega bo`lishi bilan bir qatorda vaqt o`tishi bilan juda tez o`zgarib ham turadi. Bundan tashqari muvozanatsiz jarayonda sistemani holatini xarakterlovchi parametrlardan biri yoki bir nechtasi noaniq bo`lib qoladi. Masalan, jarayon muvozanatsiz bo`lsa, gaz hajmining berilgan qiymatiga mos keluvchi aniq bosim yoki aniq temperatura haqida gapirish mumkin emas. O`z-o`zidan ro`y beradigan barcha tabiiy jarayonlar, masalan gazning bo`shliqqa kengayishi, issiqroq jismdan sovuqroq jismga issiqlikning uzatilishi, diffuziya hodisasi va hakazolar muvozanatsiz jarayonlardir.

37§. QAYTAR VA QAYTMAS JARAYONLAR

Sistema biror holatdan, masalan A holatdan B holatga o`tib, yana boshlang`ich A holatiga qaytgan bo`lsin. Sistemaning A holatdan B holatga o`tishi qaytuvchan jarayon bo`lishi uchun, u boshlang`ich holatiga bo`lib o`tgan holatlar orqali teskari yo`nalishda qaytarilganda atrofdagi jismlarda hech qanday o`zgarish ro`y berishi kerak emas. Aks holda bunday jarayon qaytmas bo`ladi.

Ishqalanish kuchlari ishtirok qilgan hollarni e`tiborga olmasak, mexanika kursida biz ko`rib o`tgan deyarli barcha jarayonlar qaytar yoki qaytar jarayonlarga juda yaqin. Masalan, og`ir mayatnikning tebranishi, biror h balandlikdan elastik polga tushib, yana o`sha h balandlikka ko`tariladigan sharcha harakati qaytar jarayon bo`la oladi. Ishqalanish kuchlari ishtirok qilgan hollarda ishning bir qismi issiqlikka aylanadi va atrofdagi jismlarga tarqaladi, ya`ni atrofdagi jismlarda o`zgarish ro`y beradi - ular qizib qoladi.

Issiqroq jismlardan sovuqroq jismlarga issiqlik uzatilishi bilan boradigan barcha jarayonlar qaytmas bo`ladi. Chunki, sovuqroq jismdan issiqroq jismga issiqlik o`z - o`zidan o`tmaydi. Bunday jarayonni amalga oshirish uchun boshqa

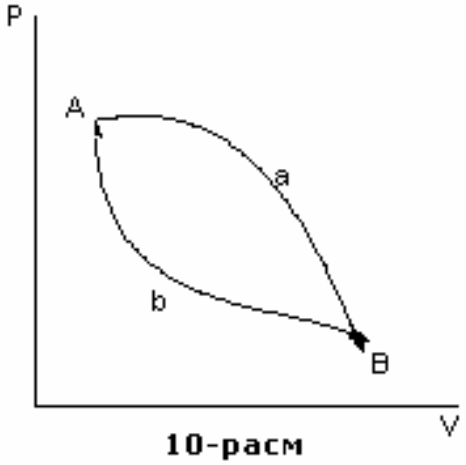
bir jismning qo`shimcha ish bajarishi talab qilinadi. Bu holda ish bajargan jismda albatta o`zgarish ro`y beradi.

Umuman olganda muvozanatsiz ro`y beradigan barcha jarayonlar qaytmasdir. Masalan, ideal gazning bo`shliqqa kengayishi. Gazni yana boshlang`ich holatiga qaytarish uchun ish bajarish talab qilinadi. Bunda boshqa jismlarda o`zgarish ro`y beradi, ya`ni jarayonning qaytuvchanlik sharti bajarilmaydi.

Shunday qilib, barcha real jarayonlar qaytmas bo`ladi, lekin ularning qaytmaslik darajasi turlicha bo`ladi.

38§. ISSIQLIK MASHINALARI. SIKLIK JARAYONLAR

Issiqlikni ishga aylantirib beruvchi qurilmalarga (bug` mashinalari, ichki yonuv dvigatellari va hakazo) issiqlik mashinalari deb ataladi. Bunday mashinalar siklik ravishda ishlaydi, ya`ni ularda issiqlikni uzatish va uni ishga aylantirish protsesslari davriy takrorlanib turadi.



10-расм

Ishchi jism issiqlik manbaidan issiqlik olgandan so`ng ma`lum bir miqdor ish bajargach, yana xuddi shunday protsessni qaytadan boshlashi uchun o`zining dastlabki holatiga qaytishi kerak, ya`ni bu jism aylanma protsesslarni bajarishi kerak. Boshlang`ich holatni qayta tiklovchi holat o`zgarishlari to`plami **sikl** deb ataladi. P-V diagrammada (10-rasm) AaBb yopiq egri chiziq bilan ifodalangan aylanma protsess (sikl) ko`rsatilgan. Bu sikl davomida bajarilgan ish son jihatdan shu yopiq egri chiziq bilan chegaralangan yuzaga teng bo`ladi.

Tajribalarda to`plangan ma`lumotlar shuni ko`rsatadiki, issiqlik mashinalari (siklik mashina) ish bajarishi uchun turli temperaturali ikki jism qatnashishi kerak ekan. Ulardan biri, temperaturasi yuqori bo`lgani issiqlik manbai bo`lib, u isitkich deb ataladi. Ish bajaruvchi jism - ishchi jism isitkichdan olingan issiqlikning bir qismini temperaturasi isitkichnikidan pastroq bo`lgan jismga, sovitkichga uzatadi. Sovutkich nimaga kerak degan savolga javob berib ko`raylik.

Gap shundaki, ishchi jism kengayib ish bajargandan keyin uni dastlabki vaziyatiga qaytarish, ya`ni gazni siqish kerak. Biroq bu ish ishchi jismning kengayishida bajargan ishidan kam bo`lishi kerak. Buning uchun ishchi jismni sovitish, ya`ni undan biror miqdor issiqlik boshqa jismga berilishi kerak.

Yuqorida biz ko`rib o`tgan xulosa o`tgan asrdayoq (1851 y) Vilym Tomson (Lord Kelvin) tomonidan umumiy prinsip tarzida quyidagi ko`rinishda ifodalangan edi: Biror jismdan olingan issiqlikni boshqa qandaydir jism yoki jismlarda hech qanday o`zgarish vujudga keltirmay, yagona mexanikaviy ishga aylantirib beruvchi siklik protsessni amalga oshirish mumkin emas.

Bu prinsip **termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni** deb ataladi. Termodinamika ikkinchi qonunining o`zaro ekvivalent bo`lgan bir qancha ta`riflari bor. Bunday ta`riflardan birini Plank bergan. U quyidagidan iborat: birdan - bir

natijasi issiqlik rezervuarining sovishi hisobiga yuk ko`tarish bo`lgan davriy ishlovchi mashinani yasash mumkin emas. 1890 yilda Klauzius bu qonunning quyidagi ta`rifini berdi: Issiqlik kamroq qizigan jismdan ko`proq qizigan jismga o`z-o`zidan o`tishi mumkin emas.

Bu ta`rif kamroq qizigan jismdan ko`proq qizigan jismga issiqlik o`tishi mutlaqo mumkin emas deb tasdiqlamaydi. Biroq, bunday issiqlik uzatilishi atrofdagi jismlarda hech qanday o`zgarish ro`y bermagan holda mumkin emas.

Shunday qilib, sovitkichsiz ishlaydigan davriy issiqlik mashinasi yaratib bo`lmas ekan. Agar faqat ishchi jism va issiqlik manbai bilangina qanoatlanib qolish mumkin bo`lganda edi, u holda uning yordamida dengiz va okeanlar suvidagi, atmosfera va Yer qa`ridagi bepoyon ichki energiya zapaslari hisobiga ish bajarish mumkin bo`lar edi. (ana shunday tasavvur qilinadigan mashina **ikkinchi tur abadiy dvigatel** deb ataladi).

Yuqorida ko`rib o`tilgandan shu narsa kelib chiqadiki, isitkichdan olingan issiqlikni batamom mexanikaviy energiyaga aylantirib bo`lmaydi. Chunki, bu issiqlikning bir qismi sovitkichga - temperaturasi isitkich temperaturasidan pastroq bo`lgan jismga berilishi shart.

Agar ishchi jismning isitkichdan olgan issiqlik miqdori Q_1 ga, sovitkichga bergan issiqlik miqdori Q_2 ga teng bo`lsa, bu issiqlikning ishga aylangan qismi $A = Q_1 - Q_2$ ga teng bo`ladi. Quyidagi:

$$h = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

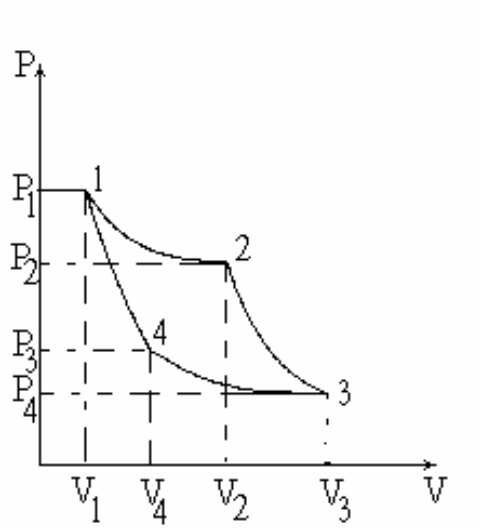
munosabat issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsienti (F.I.K.) deb ataladi. U hamma vaqt birdan kichik bo`ladi.

39§. KARNO SIKLI

Termodinamikada barcha turdagi doiraviy protsesslardan Karno doiraviy protsessi yoki Karno sikli alohida ahamiyatga egadir. Chunki, bu siklda biror jismdan olingan issiqlik eng foydali tarzda ishga aylantiriladi.

Karno sikli ikkita izoterma va ikkita adiabatadan iborat.

Siklni ishchi jism temperaturasi, isitkich temperaturasi T_1 ga teng bo`lgan paytdan boshlaymiz (11-rasm). Temperaturalar farqi bo`lmagani uchun bunda issiqlik o`tkazuvchanlik bo`lmaydi. Chunki, maqsadimiz maksimal ish olish bo`lgani uchun siklda qaytmas protsesslar bo`lishiga yo`l qo`ymaslik kerak.



11-rasm.

Ishchi jism sifatida ideal gaz olingan holni ko`rgan ma`qul, chunki ideal gaz uchun kengayish va siqilish ishlarini aniq hisoblash mumkin.

Dastlab ishchi jism isitkich bilan kontaktda bo`lgan holda 12 izoterma bo`ylab kengayib, isitkichdan olingan Q_1 issiqlik miqdori hisobiga ish bajaradi.

Ishchi jism 1 mol ideal gazdan iborat bo`lsa, uning kengayishda bajargan ishi

$$A_{12} = Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \qquad (1)$$

ga teng bo`ladi.

Ikkinchi bosqichda gaz isitkichdan ajratiladi va uning temperaturasi sovutkich temperaturasi T_2 ga tenglashgunga qadar 23 adiabata bo`yicha kengayishga majbur qilinadi. Bu bosqichda gazning bajargan ishi quyidagiga teng bo`ladi:

$$A_{23} = \frac{R(T_1 - T_2)}{g - 1} \qquad (2)$$

Bu bosqichda gazning kengayishi kerak bo`lgan hajmining qiymati V_3 ni quyidagi

$$\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{g-1} = \frac{T_2}{T_1} \qquad (3)$$

tenglamadan topish mumkin. 3-holatda sistema (gaz) sovitkich bilan kontaktga keltiriladi. Shu bilan siklning birinchi yarmi tamom bo`ladi. Endi ishchi jismni dastlabki holatga qaytarish kerak bo`ladi. Bu jarayon ham ikki bosqichdan iborat bo`ladi. Dastlab ishchi jismni uning sovitkich bilan kontaktini uzmagan holda 4 holatgacha izotermik siqiladi. Bunda ishchi jism manfiy ish bajaradi va u sovutkichga $Q_2$ issiqlik miqdori beradi. Bu ish quyidagiga teng bo`ladi:

$$A_{34} = Q_2 = -RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \qquad (4)$$

Nihoyat ishchi jismni sovutkichdan izolyasiyalab, u isitkich temperaturasigacha qiziguncha qo`shimcha adiabatik siqiladi. Buning uchun 4-holat shunday tanlangan bo`lishi kerakki, u quyidagi

$$\left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{g-1} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (5)$$

tenglikni qanoatlantirishi kerak.

Siklning oxirgi bosqichida bajarilgan ish

$$A_{41} = -\frac{R(T_1 - T_2)}{g - 1} \qquad (6)$$

ga teng bo`ladi.

Endi gaz qaytadan boshlang`ich holatda bo`ladi. Karno sikli natijasida sistemaning ichki energiyasi o`zgarmaydi, shuning uchun ishchi jismning bajargan ishi

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 - Q_2 \quad (7)$$

ga teng bo`ladi. (1), (2), (4) va (6) tengliklardan quyidagini olamiz:

$$A = RT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - RT_2 \ln\frac{V_3}{V_4} \quad (8)$$

(3) va (5) tengliklarni e`tiborga olsak, $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ ekanligi kelib chiqadi, u holda (8) ni quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$A = R(T_1 - T_2)\ln\frac{V_2}{V_1} \quad (9)$$

Karno siklining foydali ish koeffitsiyenti η uyidagi tenglik bilan aniqlanadi:

$$h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (10)$$

Biz ko`rgan Karno sikli o`zining barcha bosqichlarida shunday amalga oshirildiki, bunda barcha jarayonlar qaytuvchanlik yo`li bilan amalga oshirildi, bu esa maksimum ish bajarilishini ta`minlanishiga olib keldi. Shuning uchun (10) formulada keltirilgandan yuqoriroq foydali ish koeffitsiyentiga erishish prinsip jihatidan mumkin emas. Bu fakt Karno teoremalarida ham o`z tasdig`ini topgan. Quyida bu teoremalarni isbotsiz keltiramiz: Karno sikli bo`yicha ishlaydigan issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti faqat isitkich va sovutkichning $T_1$ va $T_2$ temperaturasiga bog`liq bo`lib, mashinaning tuzilishiga va ishchi jismning turiga bog`liq bo`lmaydi (1-teorema).

Har qanday issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti isitkich va sovutkichning xuddi shu temperaturalarida Karno sikli bo`yicha ishlayotgan ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyentidan katta bo`lishi mumkin emas (2-teorema). Yuqorida aytilganlardan issiqlik mashinasining F.I.K. yuqori bo`lishi uchun nimalarga e`tibor berish kerakligi ravshan bo`ladi. Birinchidan, mashinaning sikli iloji boricha qaytar protsessga yaqin bo`lishiga intilish kerak. Ikkinchidan, imkoniyat boricha isitkichning temperaturasini ko`tarish va sovutkichning temperaturasini pasaytirish kerak.

40§. ENTROPIYA

Agar ishchi jismning olgan issiqlik miqdori Q_1 ni musbat deb olsak va uning sovutkichga bergan issiqlik miqdorini manfiy deb olsak, u holda issiqlik mashinalari uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \le \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{yoki} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \le 0 \quad (1)$$

Agar mashina Karno sikli bo`yicha ishlayotgan bo`lsa,

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (2)$$

bo`ladi. $\frac{Q}{T}$ nisbat keltirilgan issiqlik deb yuritiladi. U holda $\frac{dQ}{T}$ nisbatni cheksiz kichik protsessda olingan keltirilgan issiqlik miqdori, $\int \frac{dQ}{T}$ integralni esa biror pro-sessda olingan keltirilgan issiqlik miqdori deb atash mumkin. (2) munosabat faqatgina Karno siqli uchungina o`rinli bo`lmay, har qanday qaytuvchi sikl uchun o`rinli ekan. (2) tenglikni umumiy holda quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (3)$$

(3) tenglikka Klauzius tengligi deyiladi va unga shunday ta`rif berish mumkin: Har qanday qaytuvchan doiraviy (sikl) protsessda sistema olgan keltirilgan issiqlik miqdori nolga teng. (3) tenglikdan yuqoridagi ta`rifga ekvivalent bo`lgan quyidagi ta`rif ham kelib chiqadi: Sistema tomonidan qaytuvchan holat o`zgarishlari natijasida olgan keltirilgan issiqlik miqdori o`tish yo`liga bog`liq bo`lmay, faqat sistemaning boshlang`ich va oxirgi holatlari bilan aniqlanadi. Bu muhim natija **entropiya** deb ataluvchi yangi holat funksiyasini kiritishga imkon beradi. Agar biz entropiyani S bilan belgilasak, bu kattalikning sistema 1 holatdan 2 holatga qaytuvchan o`tishidagi o`zgarishi quyidagiga teng bo`ladi:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (4)$$

Cheksiz kichik dQ issiqlik miqdori berilgan sistemaning entropiyasi o`zgarishi quyidagi

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (5)$$

munosabat bilan aniqlanadi.

(5) tenglamadan foydalanib termodinamikaning birinchi bosh qonuni $dQ = dU + dA$ ni quyidagi ko`rinishda yozamiz:

$$TdS = dU + dA \qquad (6)$$

Bu tenglama qaytar protsesslar uchun termodinamika ikkinchi bosh qonunining differensial ko`rinishi deyiladi. Karno teoremasiga binoan qaytmas sikl bo`yicha ishlaydigan mashina uchun

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \ \mathbf{p}\ 0 \quad (7)$$

Umuman olganda har qanday sistemada amalga oshayotgan aylanma protsess qaytmas bo`lsa, u holda

$$\oint \frac{dQ}{T} \ \mathbf{p}\ 0 \qquad (8)$$

Bu tengsizlik Klauzius tengsizligi deb ataladi va u (7) munosabatni ixtiyoriy sistema uchun umumlashtirishdan iboratdir.

41§. BERK SISTEMADA QAYTUVCHAN VA QAYTMAS JARAYONLARDA ENTROPIYA

Berk sistemada har qanday qaytuvchan protsessda sistema entropiyasi o`zgarishsiz qoladi. Buni isbotlash uchun jismni va issiqlik manbalarini o`z ichiga olgan berk sistemani ko`raylik.

Jismning holati issiqlik manbalari bilan issiqlik almashinishi va ish bajarishi tufayli qaytuvchan o`zgarayotgan bo`lsin. Issiqlik almashinish protsessi qaytuvchan bo`lishi uchun jism teperaturasi issiqlik manbai temperaturasiga teng bo`lishi kerak. Agar jism issiqlik manbaidan dQ_1 issiqlik olsa, issiqlik manbai shuncha miqdor issiqlik yo`qotadi. Bu issiqlikni $dQ_2$ deb belgilasak, ravshanki $dQ_1 = -dQ_2$ bo`ladi. Shu sababli quyidagini yoza olamiz:

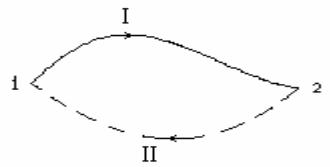
$$\frac{dQ_1}{T} = -\frac{dQ_2}{T} \quad \text{yoki} \quad dS_1 = -dS_2$$

Butun berk sistema entropiyasining o`zgarishi dS nolga teng:

$$dS = dS_1 + dS_2 = 0$$

Shunday qilib, har qanday qaytuvchan adiabatik protsess - bu doimiy entropiyada amalga oshuvchi protsessdir.

Endi berk sistemada qaytmas protsesslarda entropiya qanday o`zgarishi ustida to`xtalib o`taylik. Faraz qilaylik, sistema 1 muvozanat holatdan 2 muvozanat holatga qaytmas yo`l bilan o`tgan bo`lsin (12 - rasmda bu o`tish tutash chiziq bilan ko`rsatilgan). Sistemani 2 holatdan boshlang`ich 1 holatiga biror qaytuvchan II yo`l orqali qaytaramiz.



12-rasm

Hosil bo`lgan 1I2II1 aylanma prosess qaytmas protsessdir. Shu sababli Klauzius tengsizligi asosida quyidagini yozish mumkin:

$$\oint \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} \; \mathbf{p} \; 0 \quad (1)$$

Ikkinchi integral qaytar protsessga tegishli bo`lgani uchun

$$\int_2^1 \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2$$

Shu sababli Klauzius tengsizligi

$$S_2 - S_1 \; \mathbf{f} \; \int_1^2 \frac{dQ}{T} \qquad (2)$$

ko`rinishni oladi.

Agar sistema adiabatik izolyasiyalangan bo`lsa, u holda $dQ = 0$ bo`ladi va

$$S_2 - S_1 \; \mathbf{f} \; 0 \;\; \text{yoki} \quad S_2 \; \mathbf{f} \; S_1$$

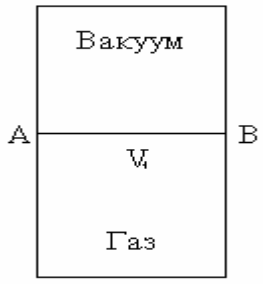
Shunday qilib, berk sistemaning entropiyasi qaytmas protsesslarda ortar ekan, degan xulosa kelib chiqadi. Bu entropiyaning o`sish qonunidir. Demak berk sistemaning 2 holatdan 1 holatga o`tishi mumkin emas, chunki, bunday o`tishda entropiya kamaygan bo`lar edi. Aksincha sistemaning kichik entropiyali 1 holatdan katta entropiyali 2 holatga adiabatik o`tishi termodinamika ikkinchi

qonuni postulotiga zid kelmaydi va bunday o`tish mumkin. Shunday qilib, ikkinchi qonun tabiatda bo`ladigan protsesslarning yo`nalishlari haqida fikr yuritishga imkon beradi.

Entropiyaning ortish qonuni ko`pincha termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni deb ataladi. Quyida bu qonunni tasvirlovchi bir necha misol keltiramiz.

Ideal gazning bo`shliqda abiabatik kengayishida entropiyaning ortishi.

Aytaylik, 1 mol ideal gaz devorlari issiqlik o`tkazmaydigan va AB to`siq bilan ikki qismga bo`lingan idishning $V_1$ ga teng bo`lgan hajmiga qamalgan bo`lsin (13-rasm). So`ngra to`siq olinadi yoki unda teshik ochiladi.



Bunda gaz adiabatik kengayib, idishning butun V hajmini to`ldiradi. Tavsiflangan protsess natijasida gazning temperaturasi o`zgarmaydi (Joul qonuni). Gaz entropiyasi o`zgarishini hisoblash uchun gazni V1 hajmdan V hajmgacha qaytuvchan yo`l bilan, masalan izotermik kengaytirish yo`li bilan o`tkazish kerak. Izotermik protsess uchun

13-rasm

$$\frac{dP}{P} + g \frac{dV}{V} = 0$$

Bundan

$$\Delta S = R \ln \frac{V}{V_1} \; \mathbf{f} \; 0$$

entropiya ortadi. Demak, gazning bo`shliqqa adiabatik kengayishi qaytmas jarayondir.

**Gazlarning o`zaro diffuziyasida entropiyaning ortishi.** $V_1$ hajmli idishda biror ideal gazning 1 moli solingan deb faraz qilaylik. Hajmi $V_2$ bo`lgan ikkinchi idishda boshqa bir gazning 1 moli solingan bo`lsin. Ikkala idish tutashtirilsa, ma`lum vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi va hosil bo`lgan aralashma $V= V_1 +V_2$ hajmni egallaydi. Bu protsessni har bir gazning kengayishi deb qarash mumkin. U holda bundan oldingi misolda qilingan mulohazalar asosida entropiya o`zgarishi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\Delta S = R\left(\ln \frac{V}{V_1} + \ln \frac{V}{V_2} \right) \mathbf{f} \; 0$$

entropiya ortadi. Demak, gazlarning o`z-o`zidan aralashish protsessi qaytmas protsess ekan. Haqiqatdan ham gazlar aralashmasining uning komponentalariga ajralishi o`z-o`zidan amalga oshmaydigan jarayondir.

42§. ENTROPIYA VA EHTIMOLLIK

Statistik fizika bo`yicha izolyasiyalangan sistemaning muvozanat holatga o`tish ehtimolligi uning boshqa holatlarga o`tish ehtimolligidan katta. Chunki, uning muvozanat holatiga mos keluvchi ehtimolligi eng maksimal qiymatga ega.

Lekin, statistik fizika sistemasining kam ehtimolli holatga o`tishi bilan bog`liq protsesslarni ham inkor qilmaydi.

Termodinamika bo`yicha adiabatik sistemalarda ro`y beradigan jarayonlar faqatgina entropiya ortadigan yo`nalishlarda ro`y beradi. Entropiya kamayishi mumkin emas. Lekin sistemaning muvozanat holatga o`tishida entropiya va sistema holat ehtimolligining ortib borishi bu ikki kattalik orasida qandaydir bog`lanish bor ekanini ko`rsatadi. Bu ikki kattalik orasidagi bog`lanishni Bolöman topgan bo`lib, u quyidagicha ta`riflanadi: sistemaning entropiyasi uning holat ehtimolligi logarifmiga proporsional. Agar sistemaning termodinamik ehtimolligi v bo`lsa, bu bog`lanishning matematik ifodasi quyidagicha ko`rinishda bo`ladi:

$$S = k \ln \frac{v}{v_0} \quad (1)$$

bu yerda R- Bolsman doimiysi. (1) ifodani quyidagicha ham yozish mumkin:

$$S = k \ln v - k \ln v_0 = k \ln v_0 - S_0 \qquad (2)$$

bundagi S_0 - kattalikni entropiyaning hisob boshi uchun qabul qilish mumkin. U holda bu hisob boshidan boshlab hisoblangan entropiya yoki uning o`zgarishi $k \ln v$ ga teng bo`ladi.

Entropiya bilan ehtimollik orasidagi bog`lanish termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini statistik nuqtai nazardan quyidagicha talqin qilishga imkon beradi: tabiatda har qanday protsess shunday amalga oshadiki, bunda sistema ehtimolligi katta bo`lgan holatga o`tadi. Shu bilan termodinamik talqin bo`yicha ikkinchi qonundagi qat`iylik o`z kuchini yo`qotadi. Chunki, o`z-o`zidan boruvchi protsessning ehtimolligi katta bo`lgan holatga olib kelishidan iborat bo`lgan dalil protsessning boshqa yo`nalishda ham ro`y berishini istisno qilmaydi. Masalan, fluktuasiyalar entropiyani (va ehtimollikning) kamayishi bilan ro`y beradigan holat o`zgarishlaridir. Muvozanat holatidan bunday kichik chetga chiqishlar entropiyaning ehtimollik xarakterda ekanligidan kelib chiqadigan shaksiz natijadir.

43§. ENTROPIYA VA TARTIBSIZLIK

Sistemaning tartibsizlik darajasi bilan uning entropiyasi orasida bog`lanish bor. Bu bog`lanish shundan iboratki, sistemaning tartibsizligi ortgan sari uning entropiyasi ham ortib boradi. Shuning uchun entropiyani tartibsizlik o`lchovi deb hisoblash mumkin. Buni misollar yordamida tushuntirishga harakat qilaylik.

Agar to`siq bilan ikkiga ajratilgan idishda ikki turli gaz bo`lsa, u holda sistemaning bunday holati bu gazlarning aralashmasi bo`lgandagidan tartibliroq bo`ladi. To`siq olinsa, ma`lum vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi. Natijada sistema entropiyasi ortadi. Moddaning qattiq holatdan suyuq holatga o`tishi yoki suyuq holatdan gazsimon holatga o`tishi tartibsizlikning va entropiyaning ortishiga olib keladi. Har qanday o`z-o`zidan ro`y beradigan tabiiy protsess shunday ro`y beradiki, bunda sistemaning tartibsizligi ortadi: jismlar temperaturasi o`z-o`zidan tenglashadi, gazlar bo`shliqqa o`z-o`zidan kengayadi, gazlar o`z-o`zidan aralashadi va hakazo.

Holat entropiyasi va ehtimolligi orasidagi bog`lanishni nazarda tutib shuni ham qayd qilib o`tish lozimki, katta tartibsizlik bilan xarakterlanadigan holat tartiblashganroq holatga nisbatan katta termodinamik ehtimollikka ega bo`ladi.

Tajribalar shuni ko`rsatadiki, temperatura pasayganda sistemada tobora ko`proq darajada tartiblanish kuzatiladi, ya`ni sistemaning entropiyasi kamayib boradi. Shunday ekan o`z-o`zidan quyidagi savol tug`iladi: entropiya kamayib bo-rib o`zining ma`lum bir chegaraviy qiymatiga erishadimi yoki yo`qmi Bu savolga javob Nernstning issiqlik teoremasida (1906) berilgan. Uni ko`pincha termodinamikaning III -bosh qonuni deb ham yuritishadi va u quyidagicha ta`rif-lanadi: absolyut nolga yaqinlashganda entropiya muayan chekli chegaraga (limitga) intiladi; temperaturaning absolyut nolida sistemani bir muvozanat holatdan ikkinchi muvozanat holatga o`tkazuvchi barcha jarayonlar entropiya o`zgarmagan holda sodir bo`ladi.

Biz bu yerda ushbu qonun va undan kelib chiqadigan natijalar muhokamasi ustida to`xtalib o`tirmagan holda bu qonunning tajriba bilan mos keluvchi ba`zi bir natijalarini keltirib o`tish bilangina cheklanamiz. Bu qonundan kelib chiqadigan natijalarning asosiylari quyidagilar:

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning S_p va S_v issiqlik sig`imlari nolga intiladi;

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti va bosim termik koeffitsiyenti nolga intiladi.

44§. TEMPERATURANING TERMODINAMIK SHKALASI

Karno teoremasidan Karno siklining F.I.K. faqat isitkich va sovutkichning temperaturalarigagina bog`liq bo`lishi kelib chiqadi. Agar ishchi jism T_1 temperaturada issiqlikni yutib, T_2 temperaturada sovutkichga issiqlik bersa, u holda quyidagi munosabat o`rinli bo`ladi:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1)$$

Har qanday modda uchun o`rinli bo`lgan bu munosabat Karno mashinasidan o`ziga xos termometr sifatida foydalanishga imkon beradi. Bu termometr shkalasi bo`yicha o`lchanadigan temperatura termometrik moddaning turiga mutlaqo bog`liq bo`lmaydi. Shunisi borki, bu termometr temperaturalarning o`zini emas, balki bu ikki T_1 va T_2 temperaturalarning nisbatini aniqlashga imkon beradi. Tempe-raturalardan biriga aniq son qiymat berib, uning uchun biror yo`l bilan gradus o`lchovi tanlansa, u holda izlanayotgan temperaturani ham aniqlash mumkin.

Shunday yo`l bilan olinadigan temperaturalar shkalasi temperaturalarning termodinamik shkalasi deb ataladi. Bu shkalani 1848 yilda Kelvin tavsiya qilgan edi. Shuning uchun bu shkala bo`yicha o`lchanadigan temperaturani kelvinlarda o`lchash qabul qilingan.

Temperaturani bunday yo`l bilan o`lchash texnik jihatdan amalga oshirib bo`lmaydigan vazifa. Lekin termodinamikada temperaturalarning absalyut termodinamik shkalasi bilan ideal-gaz termometrining shkalasi ayniy ekanligi isbot qilingan. Termodinamik shkalani texnik jihatdan yasash mumkin bo`lmasada,

undan kelib chiqadigan hulosalar katta ahamiyat kasb etadi. Shu haqda biroz to`xtalib o`taylik.

Absalyut termodinamik shkala manfiy qiymatlarni qabul qila olmaydi chunki, bu shkalaning noli $Q_1 = 0$ bo`lgandagi temperatura ekanligi (1) formuladan ko`rinib turibdi. Bu holda Karno mashinasining F.I.K. birga teng bo`ladi, binobarin, bundan past temperaturaning bo`lishi mumkin emas, chunki F.I.K. birdan katta bo`la olmaydi.

Issiqlik mashinasining F.I.K. termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko`ra hech qachon birga teng bo`lmaydi, chunki isitkichdan olingan issiqlik miqdori hech vaqt tamomila mexanikaviy ishga aylanmaydi. Shuning uchun absalyut nol temperaturaga ham erishish mumkin emas.

Kontrol savollar

1 Jarayon nima?
2. Qanday jarayonga muvozanatli jarayon deyiladi?
3. Qanday jarayonga qaytar jarayon deyiladi?
4. Siklik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi?
5. Issiqlik mashinasi (yoki issiqlik dvigateli) deb nimaga aytiladi?
6. Foydali ish koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
7. Sovutish mashinasi qanday sikl bo`yicha ishlaydi va uning vazifasi nima?
8. Energiyaning saqlanish qonunining mazmuni nimadan iborat?
9. Termodinamikaning I va II-qonunlarining mazmuni nimadan iborat?
10.Karno teoremalarining mazmuni nimadan iborat?
11.Entropiyaning ortish qonuni qanday ta`riflanadi?

Masalalar

1-masala. Boshlang`ich hajmi 1 $m^3$ bo`lgan kislorod 200 kPa bosim ostida turibdi. Gazni avval o`zgarmas bosimda 3 $m^3$ hajmgacha, so`ngra esa o`zgarmas hajmda 500 kPa bosimgacha qizdirilgan bo`lsa: 1) gaz ichki energiyasining o`zgarishi; 2) u bajargan ish; 3) unga berilgan issiqlik miqdori topilsin.
Javobi: 1) 3,25 MJ; 2)0,4 MJ; 3) 3,65 MJ.
2-masala. Miqdori 1 mol bo`lgan ikki atomli ideal gaz $10^{-2}$ $m^3$ hajmga va 250 kPa bosimga ega. Gazni oldin 400 K haroratgacha izoxorik ravishda qizdirildi. So`ngra esa, izotermik kengaytirib, uni boshlang`ich bosimgacha olib borildi. Shundan so`ng izobarik siqish yo`li bilan gazni boshlang`ich holatga qaytarildi. Bunday siklning FIK ni-maga teng bo`lgan Javobi: 4,1%
3-masala. Porshenli silindrsimon idishda 300 K temperaturada massasi 20 g bo`lgan vodorod bor. Dastlab gaz adiabatik ravishda kengaya boshlab o`z hajmini besh martaga orttirdi, so`ngra esa izotermik ravishda siqilib, uning hajmi besh martaga kamaydi. Adiabatik kengayishning oxiridagi temperatura va gazning butun jarayon davomida bajargan ishi topilsin. Javobi: T= 157 K, A =8,8 kJ.
4-masala. Ikki atomli ideal gaz bir gal izotermik, ikkinchi gal adiabatik ravishda siqildi. Gazning har ikkala holdagi boshlang`ich bosim va temperaturalari bir xil. Oxirgi bosim boshlang`ich bosimdan: a) 2 marta; b) 100 marta katta bo`lgandagi

adiabatik va izotermik protsesslardagi (jarayonlardagi) siqilish ishlari nisbati topilsin. Javobi: a) 1,5; b) 0,8.

5-masala. Ko`p atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat siklni bajardi. Bunda gazning eng katta bosimi eng kichik bosimidan ikki marta katta, eng katta hajmi esa eng kichik hajmidan to`rt marta katta bo`ldi. Siklning F.I.K. aniqlansin. Javobi: 11%

6-masala. Ideal gaz Karno siklini bajarmoqda. Isitkichning temperaturasi T_1 sovutkichning temperaturasi T_2 dan to`rt marta katta. Gaz bir siklda isitkichdan olinadigan issiqlik miqdorining qanday ulushini sovutgichga beradi Javobi: 0,25.

7-masala. Karno siklini bajarayotgan gazning eng kichik hajmi 153 l. Agar gazning izotermik kengayishining oxiridagi hajmi va izotermik siqilishining oxiridagi hajmi mos ravishda 600 l va 189 l ga teng bo`lsa, gazning eng katta hajmi aniqlansin. Javobi: 740 l.

8-masala. 1 kmol ikki atomli ideal gaz isitilganda uning absolyut temperaturasi 1,5 marta ortgan. Agar gaz: 1) izoxorik; 2) izobarik isitilsa entropiyaning o`zgarishi topilsin. Javobi: 1) $8{,}5\cdot10^3$ J K; 2) $11{,}8\cdot10^3$ J K.

9-masala. Issiq suv o`z issiqligini o`sha massali sovuq suvga berganda har ikkala suvning temperaturasi tenglashib qoladi. Shu jarayonda entropiyaning o`sishi ko`rsatilsin. Javobi: $\Delta S = m\ln\left[\frac{(T_1+T_2)^2}{4T_1\cdot T_2}\right]$ **f** 0

VI BOB. REAL GAZLAR

45§. MOLEKULALAR ORASIDAGI O`ZARO TA`SIR KUCHLARI

Ideal gaz qonunlari - taqribiy qonunlardir. Bu qonunlar yetarlicha kichik bosimlardagina o`rinli bo`lib, bosim qancha kichik bo`lsa, shuncha aniq bajariladi.

Ideal gaz qonunlaridan chetlanishlar real gaz molekulalari orasida ideal gaz nazariyasida e`tiborga olinmaydigan kuchlar borligi bilan bog`liq. Molekulalar va atomlar orasidagi (ximiyaviy birikmalar hosil bo`lmaydigan holdagi) kuchlar molekulyar kuchlar deyiladi. Molekulyar kuchlar atomlar va molekulalarni tashkil etgan elektr zaryadiga ega elementar zarrachalar orasidagi elektr o`zaro ta`sir kuchlaridan iborat. Bu kuchlar molekulalar orasidagi masofaga murakkab bog`langan bo`lib, masofa ortishi bilan tez kamayib boradi.

Uzoq masofalardan ta`sir etuvchi molekulyar kuchlar tortishish kuchlari bo`ladi. Atom va molekulalar elektr jihatdan neytral sistemalardir. Shunday ekan, tortishish kuchlarining vujudga kelishini qanday tushuntirish mumkin? Birinchidan, molekula ichidagi qarama-qarshi ishorali zaryadlar bir nuqtada ustma-ust tushmaydi. Shu tufayli ularning tashqi ta`siri bir-birini butunlay yo`qotmaydi. Ikkinchidan, tashqi maydon (qo`shni molekula maydoni) ta`sirida molekula ichida zarralar vaziyati o`zgaradi - musbat va manfiy zaryadlangan zarrachalar bir-biriga nisbatan qarama - qarshi yo`nalishda siljiydi. Bu hodisani elektr qutblanish deyiladi. Qutblangan molekula ta`sirida u bilan ta`sirlashayotgan molekula ham qutblanadi. O`zaro ta`sir natijasida ular bir-biriga qarama-qarshi zaryadlangan

tomonlari bilan qarab qoladi. Natijada ular xuddi qarama-qarshi qutblari bilan bir-biriga qaragan magnitlar kabi tortishadi.

O`zaro ta`sirlashuvchi zarralarning elektron qobiqlari bir-birining ichiga kiradigan holdagi yaqin masofalarda molekulyar tortishish kuchlari o`rnini itarishish kuchlari oladi. Zarralar orasidagi masofa juda kichik bo`lganda itarish kuchlari juda katta bo`ladi. Masofa ortgan sari itarishish kuchlari tortishish kuchlariga nisbatan tezroq kamayadi.

46§. EKSPERIMENTAL IZOTERMALAR

Real gaz hajmining bosimga bog`lanishi haqidagi tajriba ma`lumotlari bilan ideal gaz holat tenglamasi orasidagi farq gaz holatida yuz beradigan muhim sifatiy o`zgarishlar bilan ham bog`liq bo`lib, bunday o`zgarishlar yuqori bosimlar va tegishli temperaturalarda kuzatiladi.

Gazlarning holatidagi bosim va temperaturaning ma`lum qiymatlarida ro`y beradigan sifat o`zgarishlari bu ularning gazsimon holatdan farq qiluvchi suyuq holatga o`tishidir. Bu hodisani ideal gazning holat tenglamasi bilan mutlaqo tushuntirib bo`lmaydi.

Quyida bu jarayonni ko`rib chiqaylik. Tekshirilayotgan gaz suriluvchi porshen bilan berkitilgan idishga qamalgan va uning temperaturasi o`zgarmas, lekin har bir gaz uchun xarakterli qiymatdan pastroq bo`lsin. Porshen yordamida gazning hajmini kamaytirganimiz sari uning bosimi dastlab hajmga teskari proporsional ravishda ortadi (14-rasm), so`ngra sekinroq ortadi (egri chiziqning AB qismi). Hajm V_2 qiymatga yetguncha shunday davom etadi. Hajmning keyingi V_1 gacha o`zgarishida bosim o`zgarmaydi. Bu vaqtda porshenning sirtida va idish devorlarida suyuqlik tomchilari paydo bo`la boshlaydi. Gazning suyuqlikka aylanishi (kondensasiya protsessi) $V_2$ hajmga mos keluvchi B nuqtada boshlanib, hajm V1 qiymatga erishganda gazning hammasi suyuq holatga o`tadi. V_1 hajmdan boshlab hajmning kichrayishi bosimning keskin ortishini talab qiladi. Chunki, suyuqlikni siqish gazni siqishga qaraganda ancha qiyin.

Izotermaning VC qismiga mos keluvchi bosim va hajmlarda idish hajmining bir qismi suyuqlik bilan, boshqa qismi esa to`yingan bug` deb ataluvchi gaz bilan band. To`yingan bug`ning bosimi esa berilgan temperaturada gaz hajmiga bog`liq emas.

Temperatura ortishi bilan izotermaning gorizontal qismi qisqarib boradi va kritik temperatura deb ataluvchi temperaturada bitta nuqtaga aylanadi (16-rasmga qarang). Kritik tempetatura (kritik holat) haqida keyingi mavzularda yana to`xtalib o`tsakda, shu narsani qayd qilib o`tish lozimki, kritik temperaturadan yuqori temperaturalarda gazni siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirib bo`lmaydi. Shu sababli **bug`** deganda ko`pincha siqilganda suyuqlikka aylanadigan gaz nazarda tutiladi.

Izotermadagi BC qismning mavjudligi ayni bir temperatura va bosimda bir moddaning bir vaqtda ikki holatda bo`lishi mumkinligini ko`rsatadi. Bu holatlar o`zlarining fizik xossalari bilan bir-biridan farq qiladi.

Umuman olganda, agar sistema fizikaviy jihatdan turli holatda bo`lgan va bir-biridan ajralib turuvchi bir jinsli qismlardan iborat bo`lsa, u holda bu qismlar uning **fazalari** deb ataladi.

Agar berilgan sharoitda moddaning ikki yoki undan ortiq fazalari bir-biriga tegib tursa va bunda biri ikkinchisining hisobiga o`smasa, moddaning bunday holati uning fazaviy muvozanati deb ataladi. Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o`tishi uning fazaviy o`tishi yoki fazaviy aylanishi deb ataladi. Moddaning tarkibiga qarab muvozanatda bo`ladigan fazalar soni turlicha bo`lishi mumkin.

47§. VAN-DER-VAALS TENGLAMASI

Holat tenglamasining molekulalarning chekli o`lchamlarini va ular orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarini nazarga olgan ko`rinishini birinchi marta 1873 yilda Van-der-Vaals tavsiya qilgan. Shuning uchun u tavsiya qilgan tenglama Van-der-Vaals nomi bilan ataladi. Bu tenglamani chiqarishda biz dastlab itarishish kuchlarini yoki (unga ekvivalent) molekulalarning chekli o`lchamga ega ekanini e`tiborga olamiz.

Bir mol gaz uchun yozilgan ideal gaz holatining

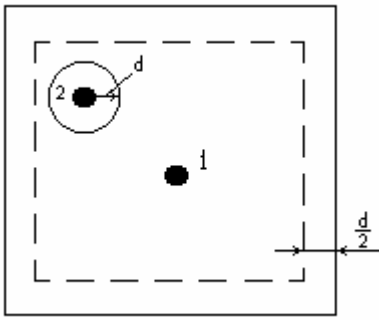
$$PV= RT \qquad (1)$$

tenglamasidagi V hajm har bir ideal gaz molekulasi erkin harakatlana olishi mumkin bo`lgan hajmdir. Chunki, ideal gaz molekulalari bir-biriga nolga teng bo`lgan masofagacha yaqinlasha oladi. Lekin real gaz holida idishning butun hajm molekulalar ixtiyorida emas, chunki har bir molekula idish hajmining biror qismini egallaydi. To`qnashuvlarda molekulalar markazlari d dan (effektiv diametr) kichik masofaga yaqinlasha olmaydi. Bu holni hisobga olish uchun idish hajmidan uning molekulalar harakatlanishi mumkin bo`lmagan qismini ayirib tashlash kerak. Hajmning bu qismini v bilan belgilasak, (1) tenglama quyidagi ko`rinishga keladi:

$$P(V-v) = RT \qquad (1)$$

Agar molekulalarni qattiq elastik sharlar deb faraz qilsak, v kattalikni hisoblash oson bo`ladi.

Kub shaklidagi V hajmli idishni ko`z oldimizga keltiraylik, unga berilgan bosim va temperaturada 1 mol gaz qamalgan bo`lsin (15-rasm). Molekula diametri d ga teng bo`lsa, u holda gaz molekulalari idish devoriga $\frac{d}{2}$ dan kichik masofagacha yaqin kela olmaydi.



Shuning uchun $\frac{d}{2}$ qalinlikdagi qatlamni olib tashlash kerak (6-rasmga qarang). Amalda idish o`lchamlari d dan juda katta bo`lganligi uchun bu qatlamni e`tiborga olish hisoblashlarga hech qanday aniqlik kiritmaydi.

15-rasm

Dastlab idishda ikkita bir xil molekula bor deb faraz qilamiz.

O`zaro to`qnashuvlarda molekulalar markazlari d dan kichik masofaga yaqin kela olmaydi. Agar 2-molekulani d radiusli sfera bilan o`rasak, ravshanki 1 - molekula bu sferaning ichiga kira olmaydi. Demak 1 - molekula erkin harakat qiladigan hajm, 2 - molekula borligi tufayli, bu molekulani chegaralovchi d - radiusli sfera hajmi qadar kamayadi. Bu miqdor ikkala molekula hajmlarining to`rtlanganiga teng.

Endi idishda N_0 ta bir xil molekula bo`lsin. To`qnashuvlarda asosan ikkita molekula ishtirok qiladi deb faraz qilamiz. U holda bu molekulalar erkin harakat qila oladigan hajm V hajmdan $\frac{N_0}{2}$ molekulani chegaralovchi sferalarning egallagan hajmi qadar kam bo`ladi:

$$V - N_0 \frac{2}{3} p\, d^3 = V - N_0 \frac{16}{3} p\, r^3 \qquad (3)$$

bu yerda r - molekula radiusi. Ravshanki, (3) kattalik (2) holat tenglamasidagi V-в kattalikdir. U holda v kattalik

$$в = \frac{16}{3} p\ r^3$$

ga, ya`ni gazning barcha $N_0$ ($N_0$ -Avagadro soni) ta molekulalarining to`rtlangan hajmiga teng.

Endi tortishish kuchlarini hisobga olamiz. Bu kuchlarning mavjudligi shunga olib keladiki, gaz molekulalarining bosimi, boshqa barcha sharoitlar birday bo`lgani holda, ideal gaz holidagidan kam bo`ladi. Chunki, idish devori yaqinida turgan ixtiyoriy molekulaning bir tomonidagi qo`shnilari boshqasidan, ya`ni devor tarafdagilardan ko`p bo`lgani uchun unga gazning ichiga qarab yo`nalgan natijaviy kuch ta`sir qiladi. Shu tufayli idish devoriga ta`sir qiluvchi bosim ideal gazdagiga nisbatan biror $\Delta P$ miqdor kam bo`ladi. U holda (2) ifodani ΔP ni e`tiborga olib quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$P = \frac{RT}{V - в} - \Delta P \text{ yoki } P + \Delta P = \frac{RT}{V - в} \qquad (4)$$

Bundagi ΔP bosim ichki yoki molekulyar bosim deyiladi. Uning nimaga bog`liq ekanini aniqlaylik. Bu molekulyar bosim gazning devorga yaqin turgan birlik sirtidagi barcha molekulalariga ta`sir qiluvchi tortishish kuchiga teng. Bu kuch molekulalar zichligi n ga proporsional. Ikkinchi tomondan tortishish kuchi ta`sir qiluvchi devorga yaqin molekulalar soni ham n ga proporsional. Demak, $\Delta P \sim n^2$ yoki n gaz egallagan hajmga teskari proporsional bo`lgani uchun

$$\Delta P = \frac{a}{V^2} \qquad (5)$$

bo`ladi. Bu yerda V gazning molyar hajmi, a -proporsionallik koeffitsiyenti. (4) va (5) tengliklarni nazarda tutib 1 mol real gaz uchun holat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - в) = RT \qquad (6)$$

Gazning ixtiyoriy miqdori uchun u quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$\left(P+\frac{m^2}{m^2}\cdot\frac{a}{V^2}\right)\left(V-\frac{m}{m}в\right)=\frac{m}{m}RT \qquad (7)$$

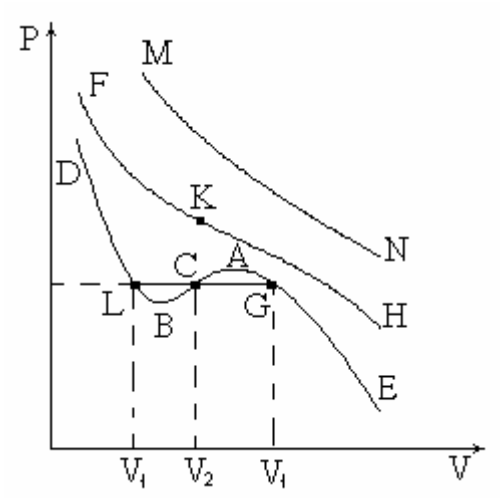
Van-der-Vaals tenglamasidagi *a* va *в* tuzatmalar o`zgarmas kattaliklar bo`lib, ularning son qiymatlari turli gazlar uchun turlicha. Shu sababli (7) tenglama Klapeyron tenglamasi kabi universal emas. Lekin, bu tenglama gazlarning xarakterini sifat jihatidan to`g`ri ifodalaydi.

48§. VAN-DER-VAALS IZOTERMALARI

Van-der-Vaals tenglamasini uncha murakkab bo`lmagan o`zgartirishlardan keyin quyidagi ko`rinishga keltirish mumkin:

$$V^3+\left(в+\frac{RT}{P}\right)V^2+\frac{a}{P}V-\frac{aв}{P}=0 \qquad (1)$$

Bu tenglama V bo`yicha uchinchi darajali tenglama bo`lib, u bitta yoki uchta haqiqiy ildizga ega bo`ladi. Har bir ildizga PV diogrammada bir nuqta mos keladi. Agar temperatura yuqori bo`lsa, izoterma monoton pasayuvchi, MN egri chiziq ko`rinishida bo`ladi va bosimning tegishli qiymatlariga (1) tenglamaning bittadan ildizi to`g`ri keladi. Pastroq temperaturalarda va P bosimning ba`zi bir qiymatlarida (1) tenglama $V_1$, $V_2$, $V_3$ uchta ildizga ega. Bunday hollarda P=const izobara, izotermani L, C, G uchta nuqtada kesib o`tadi (16-rasm). Biror oraliq temperaturada V_1, V_2, V_3, uchta ildiz bir-biriga teng bo`lib qoladi (K-nuqta). FKH izotermaning bukilish nuqtasi K kritik nuqta va unga mos keluvchi holatga kritik holat deyiladi. Bu holatga mos kelgan T_k, R_k va V_k lar mos ravishda kritik temperatura, kritik bosim va kritik hajm deyiladi.



16-rasm

Van-der-Vaals izotermasi bilan tajribada olingan izoterma orasida katta farq bor. Rasmdan ko`rinib turibdiki, to`g`ri chiziqli gorizontal LCG qism o`rniga izotermada to`lqinsimon LBCAG soha bor. Izotermaning DL qismi suyuq holatga, GE qismi esa gazsimon holatga mos keladi.

Egri chiziqning VSA qismidagi nuqtalariga mos keluvchi holatlarning bo`lishi mumkin emas, chunki bosim ortganda hajm ortishi mumkin emas. Izotermaning AG va LB qismiga mos keluvchi holatlar metastabil holatlar deyiladi va bu holatlarni amalda namoyon qilish qiyin.

FKH izotermaning kritik nuqtasiga mos keluvchi holatida moddaning gazsimon va suyuq holati orasidagi farq yo`qoladi. Bu holatga mos keluvchi kritik holat parametrlari quyidagi ifodalar yordamida topiladi:

$$V_k = 3в, \quad P_k = \frac{a}{27в}, \quad T_k = \frac{3a}{27Rв}$$

Van-der-Vaals tenglamasiga modda holatining chin tenglamasi deb emas, balki, model tenglama deb qarash lozim. Chunki, bu tenglama konkret ideallashtirilgan model asosida olingan bo`lib, tajriba ma`lumotlarida bu tenglamadan ancha muhim chetlanishlar ham mavjuddir.

49§. VAN-DER-VAALSNING KELTIRILGAN TENGLAMASI

Ideal gazlarning izotermalari gazlarning tabiatiga bog`liq emas. Real gazlar uchun ham holat tenglamasini gaz tabiatiga bog`liq bo`lmaydigan qilib yozish mumkin. Buning uchun hajm, bosim va temperatura birliklari sifatida ularning kritik qiymatlarini qabul qilish kerak. ónday birliklarda o`lchanadigan bu kattaliklar keltirilgan bosim, hajm va temperatura deb ataladi. Ular quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$v = \frac{V}{V_k}, \quad \frac{P}{P_k} = p \quad ва \quad \frac{T}{T_k} = q \quad (1)$$

Bu o`lchamsiz o`zgaruvchilar orqali yozilgan holat tenglamasi keltirilgan holat tenglamasi deyiladi. Keltirilgan holat tenglamaning ko`rinishi quyidagicha:

$$\left(p + \frac{3}{v^2}\right)\left(v - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}q \qquad (2)$$

Bu tenglamadan shu narsa kelib chiqadiki, agar turli gazlar uchun w, π, θ uchta keltirilgan parametrdan qaysidir ikkitasining qiymatlari mos tushsa, u holda uchinchi parametrning qiymati ham mos tushadi. Bu qonun mos holatlar qonuni deyiladi.

50§. GAZ HOLATDAN SUYUQ HOLATGA O`TISH

Birinchi bo`lib gazni (ammiakni) siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirgan olim Van Marum (XVIII asr oxiri) edi. Van Marumdan so`ng gazlarni siqish yo`li bilan suyuq holatga o`tkazish borasida ko`p urinishlar bo`ldi. Lekin uzoq vaqt nima uchun ba`zi gazlarni siqqanda suyulish yuz berishi, boshqalarini siqqanda suyulish yuz bermasligi noaniqligicha qolaverdi. Ingliz fizigi Tomas Endryusning 1861-1869 yillar davomida bajargan ishlari natijasida yuqoridagi savolga javob topiladi. Endryus karbonat angidridning izotermalarini turli temperaturalarda sistematik o`rgandi va bu tadqiqotlar asosida kritik temperatura tushunchasini kiritdi. U o`zining tadqiqotlari asosida quyidagi xulosaga keldi: gazning temperaturasi kritik temperaturadan pastda bo`lgan holdagina gazni siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirish mumkin. Agar gaz temperaturasi kritik temperaturadan yuqori bo`lsa, bosimni har qancha oshirganda ham gazni suyuqlikka aylantirib bo`lmaydi.

51§. REAL GAZNING ICHKI ENERGIYASI

Ideal gazning ichki energiyasi bu gazning hajmiga bog`liq bo`lmasdan, faqat uning temperaturasi bilan aniqlanadi. Real gaz uchun ichki energiya faqat temperaturaga emas, balki shu gaz egallagan hajmga ham bog`liq bo`ladi. Chunki gaz molekulalarining o`zaro ta`sir potensial energiyasi molekulalar orasidagi masofaga, ya`ni zichlikka ham albatta bog`liq bo`ladi.

Ichki energiya ifodasini chiqarishda ideal qattiq sharlar modelidan foydalanilsa, u holda faqatgina sharlar to`qnashganda paydo bo`ladigan itarishish kuchlariga hech qanday potensial energiya mos kelmaydi. Bu holda potensial energiya faqat molekulalararo tortishish kuchlarigagina bog`liq bo`ladi. Van-der-Vaalñ gazining izotermik kengayishida ichki $\Delta P = \frac{в}{V^2}$ bosimga qarshi bajargan ishi uning potensial energiyasi o`zgarishiga teng bo`ladi. Gazning V_1 hajmdan V hajmgacha kengayishida potensial energiyasi o`zgarishi esa quyidagiga teng:

$$\int_{V_0}^{V} \Delta P dV = \int_{V_1}^{V} \frac{a}{V^2} dV = -\frac{a}{V} + \frac{a}{V_1} \qquad (1)$$

Bu tenglamadan ko`rinadiki, real (1 mol) gazning egallagan V hajmiga mos keluvchi potensial energiyasi - $a/V$ ga teng ekan. Buni gaz molekulalarining issiqlik harakati kinetik energiyasiga qo`shib, biz gazning ichki energiyasi ifodasini hosil qilamiz:

$$U = U(T) - \frac{a}{V} \qquad (2)$$

Shuni qayd qilib o`tish lozimki, olingan natija moddaning faqat bir fazali holatlari uchungina to`g`ridir.

52§. JOUL - TOMSON EFFEKTI

Gazni yetarlicha katta, biroq o`zgarmas bosimda issiqlikdan izolyasiyalangan g`ovak to`siq orqali oqib o`tish jarayoni adiabatik hodisa bo`ladi. Gazning po`kak orqali stasionar oqishi Joul-Tomson protsessi va bunday oqishda gaz temperaturasining o`zgarishi Joul-Tomson effekti deb ataladi.

Gazlarning bunday oqishida temperaturaning o`zgarishi faqat real gazlarda kuzatiladi. Ideal gaz xuddi shunday kengayganida esa uning temperaturasi mutlaqo o`zgarmaydi.

Joul-Tomson protsessida real gaz temperaturasining pasayishiga sabab shuki, bunda gaz kengayib molekulyar kuchlarga qarshi ish bajaradi. Bu ish hisobiga molekulalarning issiqlik harakat energiyasi va demak, gazning temperaturasi o`zgaradi. Molekulalarning o`zaro ta`sir kuchlari nolga teng bo`ladigan ideal gazlarda Joul-Tomson effekti ham nolga teng bo`ladi.

Joul-Tomson effekti miqdoriy jihatdan Joul-Tomson differensial koeffitsiyenti deb ataluvchi μ koeffitsiyent bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent gazning ΔT temperatura o`zgarishining bu o`zgarishni yuzaga keltirgan ΔP bosim o`zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi.

$$m = \frac{\Delta T}{\Delta P} \qquad (1)$$

Ideal gazlar uchun $\mu = 0$ ga teng. Agar gazning bosimi unchalik katta bo`lmasa (100÷200 atm bo`lsa), u holda Van-der-Vaals gazi uchun μ koeffitsiyent quyidagiga teng bo`ladi:

$$m = \frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{\frac{2a}{RT} - в}{C_p} \qquad (2)$$

Agar $\frac{2a}{RT} - в$ **f** 0 bo`lsa, $\mu>0$ 0 bo`ladi va gaz soviydi. Aksincha $\frac{2a}{RT} - в$ **p** 0 bo`lsa $\mu<0$ 0 bo`ladi va gaz isiydi. $T_i = \frac{2a}{RB}$ bo`lganda temperatura o`zgarishi nolga teng:

$$T_i = \frac{2a}{Rв} = \frac{27}{4} T_k \qquad (3)$$

Bu temperatura Joul-Tomson effekti inversiya temperaturasi deyiladi. Bu temperaturadan past temperaturalarda Joul-Tomson jarayonida gaz soviydi, undan yuqori temperaturalarda esa gaz isiydi. Ko`pinchalik gazlar uchun inversiya temperaturasi xona temperaturasidan ancha yuqori bo`ladi. Bunday gazlar uchun Joul-Tomson effekti musbat. Vodorod va geliy uchun inversiya temperaturasi xona temperaturasidan ancha pastda bo`ladi. Ular uchun Joul-Tomson effekti manfiy, ya`ni bu gazlar Joul-Tomson jarayonida isiydi.

Texnikada Joul-Tomson effektidan past temperaturalar hosil qilish va gazlarni suyultirishda foydalaniladi.

Kontrol savollar

1. Molekulalar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarining mavjudligi qanday tushuntiriladi?
2. Real gaz ideal gazdan nimasi bilan farq qiladi?
3. Ideal gaz izotermalari bilan eksperimental izotermalar orasidagi farq qanday tushuntiriladi?
4. To`yingan bo`g` nima?
5. Kritik holat nima?
6. Real gazning ichki energiyasi uning qaysi parametrlariga bog`liq?
7. Joul-Tomson effekti nima?
8. Joul-Tomson effektini qanday hollarda musbat yoki manfiy effekt deyiladi?
9. Qanday gazga bug` deyiladi?
10. Qanday sharoitlardagina gazni suyuq holatga o`tkazish mumkin?

Masalalar

1-masala. P=2 atm bosimda 820 sm^3 hajmdagi 2g azotning temperaturasi qanday bo`ladi Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin. Javobi: 1) T=280 K, 2)T=280 K. Demak kichik bosimda gaz o`zini ideal gazdek tutadi.

2-masala.10^8 Pa bosimda 10 g geliy 100 sm^3 hajmni egallaydi. Gazni: 1) ideal va 2) real deb hisoblab, uning temperaturasi hisoblansin.

Javobi: 1) T_1= 482 K, T_2 =204 K.

3-masala. 0,5 m^3 hajmli yopiq idishda $5\cdot10^8$ Pa bosimda 0,6 kmol karbonat angidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun temperaturani necha marta orttirish kerakligi topilsin. Javobi: 1,85

4-masala. Sig`imi 8 l bo`lgan ballonda 300 K haroratda 0,3 kg bo`lgan kislorod bor. Idish sig`imining qanday qismini gaz molekulalarning xususiy hajmi tashkil qiladi. Gaz ichki bosimi ΔP ning gazning idish devorlariga bosimi P ga nisbati aniqlansin. Javobi: 1) 0,91%, 2) 6,3%.

5-masala. Modda miqdori 1 mol bo`lgan karbonat angidrid kritik holatda turibdi. Gaz adiabatik qizdirilganda uning hajmi ikki marta oshdi. Agar kritik harorati 304 K bo`lsa, gaz haroratining o`zgarishi topilsin. Javobi: ΔT=28 K.

6-masala. 20 l sig`imli ballonda 80 mol qandaydir gaz joylashganyu 14^0S da gaz bosimi 90 at. ga teng 63^0S da gaz bosimi 109 at. ga teng. Shu gaz uchun Van-der-Vaals doimiylarini xisoblab chiqing.

Javobi: $v=4\cdot10^{-5}$ m^3/mol, a=0,133 $N\cdot m^4/mol^2$.

7-masala. Van-der-Vaals formulasidan foydalanib V>>b shart bajariladigan zichlikli gazlardagi izotermik jarayonlar tekshirilsin. a) Qanday temperaturada gaz ideal gazga qaraganda ko`proq siqiluvchan, qanday temperaturada kamroq siqiluvchan bo`ladi? b) Qanday temperaturada real gazdagi izotermik jarayonlar ideal gazdagi kabi o`tadi? Karbonat angidrid va vodorod uchun shunday temperaturalar topilsin.

Javobi: a) T>aG`Rb bo`lganda ko`proq siqiluvchan. b)1024K (karbonat angidrid uchun) 112K (vodorod uchun).

7-masala. Silindrdagi porshen ostida 20 g massali xlor bor. Gaz hajmi 200 sm^3 dan to 500 sm^3 gacha izotermik kengaytirilganda gaz ichki energiyasining ortishi aniqlansin. Javobi: ΔU=154 J.

8-masala. Gaz doimiy temperaturada(300 K) kengayadi, bunda 1 mol gazning hajmi 1,5 l dan 15 l gacha ortadi. V_m>>v shart bajariladi, deb faraz qilib, 1 mol gazning kengayishdagi ish aniqlansin. Hisob: a) azot uchun, b) vodorod uchun bajarilsin. Javobi: 5640 J mol, b) 5680 J mol.

9-masala. Azot 147^0S kritik temperaturada 0.12 l/mol kritik hajmga ega. Uni Van-der-Vaals tenglamasiga bo`ysunadi deb, 7 g azotning bo`shliqqa 5 l li hajmdan 50 l li hajmgacha kengayishidagi temperatura kamayishini toping. Javobi: -0,013^{0}S.

10-masala. Bir mol Van-der-Vaals gazi bo`shliqqa $V_1$ hajmdan $V_2$ hajmgacha kengayganida uning temperaturasi o`zgarmay qolishi uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo`ladi. Javobi: $Q = a\cdot\left(\frac{1}{V_1}+\frac{1}{V_2}\right)$

VII BOB. SUYUQLIKLARNING XOSSALARI

53§. SUYUQLIKLARNING TUZILISHI

Suyuqliklarda molekulalar gazlardagi molekulalarga nisbatan bir-biriga juda yaqin joylashgan. Agar gazlarda molekulalararo o`zaro ta`sir, Van-der-Vaals kuchlari faqatgina past temperaturalarda va katta bosimlardagina sezilarli bo`lsa,

suyuqliklarda bu kuchlar juda sezilarli va asosiy ta`sirlardan biri bo`lib hisoblanadi.

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

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

54§. SIRT TARANGLIK

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

$$s = \frac{\Delta A}{\Delta S} \qquad (1)$$

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

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

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

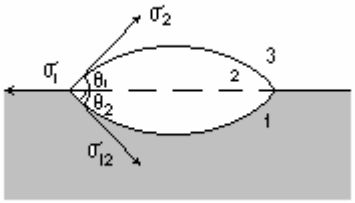
Agar suyuqlik sirtini chegaralovchi chiziqning (ajralish chizig`ining) uzunligi **l** ga va shu chiziq bo`ylab ta`sir qiluvchi sirt taranglik kuchi $f$ ga teng bo`lsa, u holda sirt taranglik koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida topila-di:

$$s = \frac{f}{\mathbf{l}} \qquad (2)$$

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

55§. IKKI MUHIT CHEGARASIDAGI MUVOZANAT SHARTLARI

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



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

17-rasm

Gazsimon muhit suyuqliklarning sirt energiyalariga deyarli ta`sir ko`rsatmaydi deb hisoblaylik. 2-tomchining shakli tegishli ikki muhitning tegishish sirtiga urinma bo`ylab yo`nalgan sirt taranglik kuchlari yoki tegishli sirt taranglik koeffitsiyentlari -σ_1, σ_2, va σ_{12} orasidagi munosabatga bog`liq bo`ladi. 2-suyuqlik muvozanatda bo`lishi uchun har uchala sirt taranglik koeffitsiyentlarining vektor yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak:

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

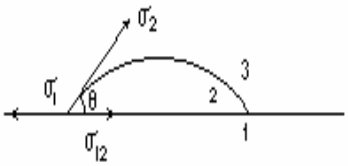
(1) ifodani skalyar ko`rinishda yozsak, quyidagi tenglamani olish mumkin:

$$s_1^{\,2} = s_2^{\,2} + s_{12}^{\,2} + 2s_2 \cdot s_{12}(q_1 + q_2) \quad (2)$$

bu yerda θ_1 va θ_2 burchaklar chegaraviy burchaklar deyiladi.

Agar $\sigma_1 > \sigma_2 + \sigma_1$ bo`lsa $\theta_1 + \theta_2 = 0$ bo`ladi va bu holda tomchi 1- suyuqlik sirtida yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bunday holda 1-suyuqlikni 2-suyuqlik tamomila ho`llaydi deb yuritiladi. Agar $\vec{s}_1 \; \mathbf{p} \; \vec{s}_2 + \vec{s}_{12}$ bo`lsa, u holda 2 suyuqlik $\vec{s}_1 = \vec{s}_2 + \vec{s}_{12}$ bo`lgunga qadar tortiladi. Bu holda suyuqlik yosmiqsimon shaklga ega bo`ladi.

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



Bu hol uchun muvozanat sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_1 = \sigma_{12} + \sigma_2 \cos\theta \qquad \text{yoki} \qquad \cos\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma 2}$$

(3)

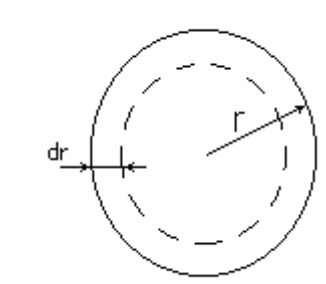
18-rasm

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

Ko`pincha qisman ho`llash $\left(q\ \mathbf{p}\ \frac{p}{2}\right)$ yoki qisman ho`llamaslik $\left(q\ \mathbf{f}\ \frac{p}{2}\right)$ oraliq hodisalari kuzataladi.

56§. SUYUQLIKNING EGRI SIRTIDA YUZAGA KELUVCHI BOSIM

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



19-rasm

Faraz qilaylik shar shaklidagi suyuqlik bu bosim ta`sirida o`z haj-mini 19-rasmda ko`rsatilgandek dV ga kamaytirgan bo`lsin. Bunda bajarilgan ish suyuqlik sirt energiyasining kamayishi hisobiga bo`ladi.

Siqish ishi

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

bo`ladi. Sirt energiyasining kamayishi esa

$$dF = s \cdot dS \qquad (2)$$

ga teng. Shar hajmining va sirtining uning radiusini dr ga kamayishiga mos keluvchi o`zgarishlari quyidagilarga teng bo`ladi:

$$dS = 8p\ rdr, \qquad dV = 4p\ r^2 dr \qquad (3)$$

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

$$P4p^2 dr = s\ 8prdr \qquad (4)$$

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

$$P = \frac{2s}{r} \qquad (5)$$

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

$$P = \frac{s}{r} \qquad (6)$$

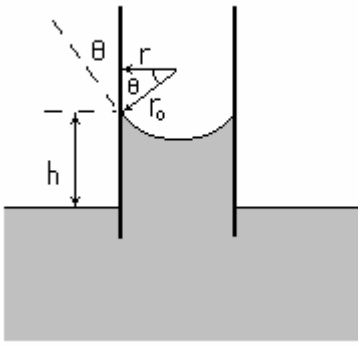
Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bog`liq bo`lgan qo`shimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi:

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

Bu yerdagi $\mathbf{r_1}$ va $\mathbf{r_2}$ - sirtning berilgan nuqtasidagi yoki aniqrog`i sirtning shu berilgan elementi uchun asosiy egrilik radiuslari.

Laplas bosimining ta`siri kapillyar idishlarda sezilarli bo`ladi. Bunday idishlarda suyuqlik sirtining egrilik radiusi suyuqlik solingan idishning o`lchamlari tartibida bo`ladi. Kapillyar idishlarda bo`ladigan hodisalar kapillyar hodisalar deyiladi.

Kapillyarlik bilan bog`liq bo`lgan eng xarakterli hodisalardan biri suyuqlikning kapillyar nayda ko`tarilishidir (20-rasm).



20-rasm

Bu rasmda suyuqlikli keng idishga tushirilgan ingichka naycha tasvirlangan. Bundagi r - naychaning radiusi, r_0 -suyuqlik sirtining egrilik radiusi.

Sirtning egriligidan hosil bo`lgan bosim tufayli naychadagi suyuqlik yuqoriga qarab yo`nalgan

$$P = \frac{2s}{r_0} \qquad (8)$$

bosim ta`siriga duch keladi. Natijada suyuqlik nay bo`ylab toki bu bosim suyuqlik ustunining rgh gidrostatik bosimi bilan muvozanatga kelguncha ko`tariladi. Quyidagi

$$r\,gh = \frac{2s\,\cos q}{r} \qquad (9)$$

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

$$h = \frac{2s\,\cos q}{r\,gr} \qquad (10)$$

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

57§. SUYUQLIKLARNING BUG`LANISHI VA QAYNASHI

Suyuqlikning sirt qatlamida joylashgan molekulalarning suyuqlikdan tashqariga uchib chiqib, bug` fazasiga o`tishi **bug`lanish** deyiladi. Molekulalarning suyuqlik tashqarisiga chiqishi uchun ular suyuqlikda qoluvchi molekulalar tortishish kuchini yengishi, ya`ni bu kuchlarga qarshi ish bajarishi kerak. Bundan tashqari modda suyuq holatdan gaz holatga o`tishda o`z hajmini o`zgartirishi

uchun tashqi bosimga qarshi ham ish bajarishi kerak. Bu ishlar molekulalar issiqlik harakatining kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Bunday ishni bajarishga hamma molekulalar ham qodir bo`lavermaydi, ularning faqat yetarlicha katta kinetik energiyaga ega bo`lgan qismigina bunday ishni bajarishi mumkin. Shuning uchun bug`lanish suyuqlikdagi tez molekulalar sonining kamayishiga, ya`ni uning sovishiga olib keladi. Tez bug`lanuvchan suyuqlik masalan, efir bilan ho`llangan terining tez sovishi ana shu effektning natijasidir. Demak, suyuqlikni uning temperaturasini o`zgartirmagan holda bug`lantirish uchun unga issiqlik berish kerak.

Ma`lum suyuqlik miqdorini izotermik bug`lantirish uchun kerak bo`ladigan issiqlik miqdori Q ga bug`lanishning yashirin issiqligi deyiladi. Suyuqlikning massa birligiga to`g`ri keluvchi yashirin bug`lanish issiqligi **solishtirma bug`lanish issiqligi** deb ataladi.

Bug`lanish issiqligi suyuqlik molekulalari orasidagi bog`lanish kuchlarining miqdoriy xarakteristikasidir. Bu kuchlar qancha katta bo`lsa, bug`lanishning yashirin issiqligi ham shuncha katta bo`ladi.

Suyuqlikning **qaynashi** uning butun hajmi bo`ylab bug`lanish jarayoni bo`lib, bu hodisa suyuqlikning keskin holda bug` pufakchalari hosil qilib, ularning suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilishi tarzida ro`y beradi. Suyuqlikning qaynash temperaturasi tashqi bosimga bog`liq. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin.

Faraz qilaylik biror sababga ko`ra suyuqlikda gaz pufakchasi paydo bo`lgan bo`lsin. Bu pufakcha darhol suyuqlikning to`yingan bug`i bilan to`ladi. Ma`lumki, to`yingan bug`ning bosimi temperaturaga bog`liq. Agar suyuqlikning temperaturasi shunday bo`lsaki, bunda pufakcha ichidagi to`yingan bug` bosimi suyuqlik ustidagi tashqi bosimdan kichik bo`lsa, u holda pufakcha kattalashmaydi. Temperatura orta borib, pufakcha ichidagi suyuqlik to`yingan bug`lari bosimi tashqi bosimga tenglashadigan qiymatiga yetganida pufakcha kattalasha boshlaydi va Arximed kuchi ta`sirida yuqoriga ko`tarilib, suyuqlik sirtida yoriladi.

58§. SUYUQ ERITMALAR

Turli moddalarning aralashmasidan iborat bo`lgan suyuqliklar **suyuq eritmalar** deb ataladi. Eritmada ko`proq miqdorda bo`lgan suyuqlik **erituvchi** deb ataladi. Masalan, osh tuzi va suvdan tashkil topgan eritmada suv erituvchi bo`lib xizmat qiladi.

Eritmalar miqdoriy jihatdan konsentrasiya, ya`ni erigan moddaning eritmaga nisbatan nisbiy ulushi (og`irlik ulushi, molyar ulushi) yoki erituvchining massa birligiga (ba`zan, hajm birligiga) to`g`ri keluvchi grammlarda ifodalangan miqdori bilan o`lchanadi.

Eritmalarning xossalarini o`rganishda bosim va temperatura bilan bir qatorda konsentrasiya ham holatning asosiy parametrlaridan biri bo`ladi.

Erish jarayoni eruvchi modda zarralarining erituvchi modda zarralari bilan o`zaro ta`siri natijasidir. Erituvchi modda zarralari bilan eruvchi modda zarralari ora-sidagi o`zaro ta`sir natijasida eruvchi modda zarralari orasidagi tortishish kuchlari susayadi va ularning bir-biridan ajralishi osonlashadi. Temperatura ortishi

bilan ajralish jarayoni tezlashadi. Issiqlik harakati tufayli erigan modda zarralari butun erituvchi hajmi bo`ylab tarqaladi. Ba`zi hollarda erish vaqtida erigan modda zarralarining tabiati ham o`zgaradi. Bunday hol erigan modda molekulalarining musbat va manfiy ionlarga ajralishi natijasida vujudga keladi.

Erish paytida eritma turiga qarab eritma temperaturasi ortishi, kamayishi yoki o`zgarmasdan qolishi mumkin. Erish paytida temperaturasi o`zgarmaydigan eritmalar **ideal eritmalar** deb ataladi. Agar eritmalarda erigan modda konsentrasiyasi juda kam bo`lsa, u holda har qanday eritmani ham ideal eritma deb hisoblash mumkin.

Eritmalarning fizik xossalari toza suyuqliklarning xossalaridan farq qiladi. Masalan, birday temperaturada eritma ustida erituvchi suyuqlik to`yingan bug`larining bosimi toza erituvchi ustidagi to`yingan bug`lar bosimidan (elastikligidan) kam bo`ladi. Raulning birinchi qonuniga ko`ra juda kichik konsentrasiyali eritmalar uchun eritma ustidagi erituvchi modda to`yingan bug`lari elastikligining kamayishi erigan modda konsentrasiyaga proporsional ekan:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n+N} \qquad (1)$$

Har qanday issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti isitkich va sovutkichning xuddi shu temperaturalarida Karno sikli bo`yicha ishlayotgan ideal mashinaning foydali ish koeffitsiyentidan katta bo`lishi mumkin emas (2-teorema). Yuqorida aytilganlardan issiqlik mashinasining F.I.K. yuqori bo`lishi uchun nimalarga e`tibor berish kerakligi ravshan bo`ladi. Birinchidan, mashinaning sikli iloji boricha qaytar protsessga yaqin bo`lishiga intilish kerak. Ikkinchidan, imkoniyat boricha isitkichning temperaturasini ko`tarish va sovutkichning temperaturasini pasaytirish kerak.

40§. ENTROPIYA

Agar ishchi jismning olgan issiqlik miqdori Q_1 ni musbat deb olsak va uning sovutkichga bergan issiqlik miqdorini manfiy deb olsak, u holda issiqlik mashinalari uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \le \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{yoki} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \le 0 \qquad (1)$$

Agar mashina Karno sikli bo`yicha ishlayotgan bo`lsa,

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (2)$$

bo`ladi. $\frac{Q}{T}$ nisbat keltirilgan issiqlik deb yuritiladi. U holda $\frac{dQ}{T}$ nisbatni cheksiz kichik protsessda olingan keltirilgan issiqlik miqdori, $\int \frac{dQ}{T}$ integralni esa biror pro-sessda olingan keltirilgan issiqlik miqdori deb atash mumkin. (2) munosabat faqatgina Karno siqli uchungina o`rinli bo`lmay, har qanday qaytuvchi sikl uchun o`rinli ekan. (2) tenglikni umumiy holda quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (3)$$

(3) tenglikka Klauzius tengligi deyiladi va unga shunday ta`rif berish mumkin: Har qanday qaytuvchan doiraviy (sikl) protsessda sistema olgan keltirilgan issiqlik miqdori nolga teng. (3) tenglikdan yuqoridagi ta`rifga ekvivalent bo`lgan quyidagi ta`rif ham kelib chiqadi: Sistema tomonidan qaytuvchan holat o`zgarishlari natijasida olgan keltirilgan issiqlik miqdori o`tish yo`liga bog`liq bo`lmay, faqat sistemaning boshlang`ich va oxirgi holatlari bilan aniqlanadi. Bu muhim natija **entropiya** deb ataluvchi yangi holat funksiyasini kiritishga imkon beradi. Agar biz entropiyani S bilan belgilasak, bu kattalikning sistema 1 holatdan 2 holatga qaytuvchan o`tishidagi o`zgarishi quyidagiga teng bo`ladi: $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ (4)

Cheksiz kichik dQ issiqlik miqdori berilgan sistemaning entropiyasi o`zgarishi quyidagi $dS = \frac{dQ}{T}$ (5)

munosabat bilan aniqlanadi.

(5) tenglamadan foydalanib termodinamikaning birinchi bosh qonuni $dQ = dU + dA$ ni quyidagi ko`rinishda yozamiz: $TdS = dU + dA$ (6)

Bu tenglama qaytar protsesslar uchun termodinamika ikkinchi bosh qonunining differensial ko`rinishi deyiladi. Karno teoremasiga binoan qaytmas sikl bo`yicha ishlaydigan mashina uchun $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2}$ **p** 0 (7)

Umuman olganda har qanday sistemada amalga oshayotgan aylanma protsess qaytmas bo`lsa, u holda $\oint \frac{dQ}{T}$ **p** 0 (8)

Bu tengsizlik Klauzius tengsizligi deb ataladi va u (7) munosabatni ixtiyoriy sistema uchun umumlashtirishdan iboratdir.

41§. BERK SISTEMADA QAYTUVCHAN VA QAYTMAS JARAYONLARDA ENTROPIYA

Berk sistemada har qanday qaytuvchan protsessda sistema entropiyasi o`zgarishsiz qoladi. Buni isbotlash uchun jismni va issiqlik manbalarini o`z ichiga olgan berk sistemani ko`raylik.

Jismning holati issiqlik manbalari bilan issiqlik almashinishi va ish bajarishi tufayli qaytuvchan o`zgarayotgan bo`lsin. Issiqlik almashinish protsessi qaytuvchan bo`lishi uchun jism teperaturasi issiqlik manbai temperaturasiga teng bo`lishi kerak. Agar jism issiqlik manbaidan dQ_1 issiqlik olsa, issiqlik manbai shuncha miqdor issiqlik yo`qotadi. Bu issiqlikni $dQ_2$ deb belgilasak, ravshanki $dQ_1 = -dQ_2$ bo`ladi. Shu sababli quyidagini yoza olamiz:

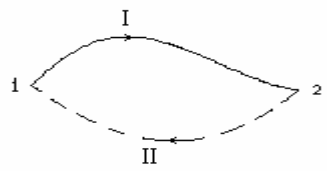
$$\frac{dQ_1}{T} = -\frac{dQ_2}{T} \quad \text{yoki} \quad dS_1 = -dS_2$$

Butun berk sistema entropiyasining o`zgarishi dS nolga teng:

$$dS = dS_1 + dS_2 = 0$$

Shunday qilib, har qanday qaytuvchan adiabatik protsess - bu doimiy entropiyada amalga oshuvchi protsessdir.

Endi berk sistemada qaytmas protsesslarda entropiya qanday o`zgarishi ustida to`xtalib o`taylik. Faraz qilaylik, sistema 1 muvozanat holatdan 2 muvozanat holatga qaytmas yo`l bilan o`tgan bo`lsin (12 - rasmda bu o`tish tutash chiziq bilan ko`rsatilgan). Sistemani 2 holatdan boshlang`ich 1 holatiga biror qaytuvchan II yo`l orqali qaytaramiz.



12-rasm

Hosil bo`lgan 1I2II1 aylanma prosess qaytmas protsessdir. Shu sababli Klauzius tengsizligi asosida quyidagini yozish mumkin:

$$\oint \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} \; \mathbf{p} \; 0 \quad (1)$$

Ikkinchi integral qaytar protsessga tegishli bo`lgani uchun

$$\int_2^1 \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2$$

Shu sababli Klauzius tengsizligi $S_2 - S_1 \; \mathbf{f} \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ (2)

ko`rinishni oladi.

Agar sistema adiabatik izolyasiyalangan bo`lsa, u holda $dQ = 0$ bo`ladi va

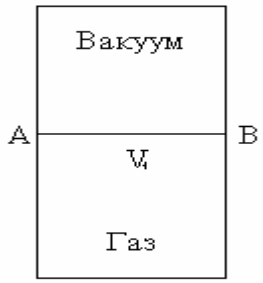
$$S_2 - S_1 \; \mathbf{f} \; 0 \text{ yoki } S_2 \; \mathbf{f} \; S_1$$

Shunday qilib, berk sistemaning entropiyasi qaytmas protsesslarda ortar ekan, degan xulosa kelib chiqadi. Bu entropiyaning o`sish qonunidir. Demak berk sistemaning 2 holatdan 1 holatga o`tishi mumkin emas, chunki, bunday o`tishda entropiya kamaygan bo`lar edi. Aksincha sistemaning kichik entropiyali 1 holatdan katta entropiyali 2 holatga adiabatik o`tishi termodinamika ikkinchi qonuni postulotiga zid kelmaydi va bunday o`tish mumkin. Shunday qilib, ikkinchi qonun tabiatda bo`ladigan protsesslarning yo`nalishlari haqida fikr yuritishga imkon beradi.

Entropiyaning ortish qonuni ko`pincha termodinamikaning ikkinchi bosh qonuni deb ataladi. Quyida bu qonunni tasvirlovchi bir necha misol keltiramiz.

<u>Ideal gazning bo`shliqda abiabatik kengayishida entropiyaning ortishi.</u>

Aytaylik, 1 mol ideal gaz devorlari issiqlik o`tkazmaydigan va AB to`siq bilan ikki qismga bo`lingan idishning $V_1$ ga teng bo`lgan hajmiga qamalgan bo`lsin (13-rasm). So`ngra to`siq olinadi yoki unda teshik ochiladi.



Bunda gaz adiabatik kengayib, idishning butun V hajmini to`ldiradi. Tavsif-langan protsess natijasida gazning temperaturasi o`zgarmaydi (Joul qonuni). Gaz entropiyasi o`zgarishini hisoblash uchun gazni V1 hajmdan V hajmgacha qaytuvchan yo`l bilan, masalan izotermik kengaytirish yo`li bilan o`tkazish kerak. Izotermik protsess uchun

13-rasm

$$\frac{dP}{P} + g \frac{dV}{V} = 0$$

Bundan

$$\Delta S = R \ln \frac{V}{V_1} \; \mathbf{f} \; 0$$

entropiya ortadi. Demak, gazning bo`shliqqa adiabatik kengayishi qaytmas jarayondir.

**<u>Gazlarning o`zaro diffuziyasida entropiyaning ortishi.</u>** $V_1$ hajmli idishda biror ideal gazning 1 moli solingan deb faraz qilaylik. Hajmi $V_2$ bo`lgan ikkinchi idishda boshqa bir gazning 1 moli solingan bo`lsin. Ikkala idish tutashtirilsa, ma`lum vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi va hosil bo`lgan aralashma $V= V_1 +V_2$ hajmni egallaydi. Bu protsessni har bir gazning kengayishi deb qarash mumkin. U holda bundan oldingi misolda qilingan mulohazalar asosida entropiya o`zgarishi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\Delta S = R\left(\ln \frac{V}{V_1} + \ln \frac{V}{V_2} \right) \mathbf{f} \; 0$$

entropiya ortadi. Demak, gazlarning o`z-o`zidan aralashish protsessi qaytmas protsess ekan. Haqiqatdan ham gazlar aralashmasining uning komponentalariga ajralishi o`z-o`zidan amalga oshmaydigan jarayondir.

42§. ENTROPIYA VA EHTIMOLLIK

Statistik fizika bo`yicha izolyasiyalangan sistemaning muvozanat holatga o`tish ehtimolligi uning boshqa holatlarga o`tish ehtimolligidan katta. Chunki, uning muvozanat holatiga mos keluvchi ehtimolligi eng maksimal qiymatga ega. Lekin, statistik fizika sistemasining kam ehtimolli holatga o`tishi bilan bog`liq protsesslarni ham inkor qilmaydi.

Termodinamika bo`yicha adiabatik sistemalarda ro`y beradigan jarayonlar faqatgina entropiya ortadigan yo`nalishlarda ro`y beradi. Entropiya kamayishi mumkin emas. Lekin sistemaning muvozanat holatga o`tishida entropiya va sistema holat ehtimolligining ortib borishi bu ikki kattalik orasida qandaydir bog`lanish bor ekanini ko`rsatadi. Bu ikki kattalik orasidagi bog`lanishni Bolöman topgan bo`lib, u quyidagicha ta`riflanadi: sistemaning entropiyasi uning holat ehtimolligi logarifmiga proporsional. Agar sistemaning termodinamik ehtimolligi v bo`lsa, bu bog`lanishning matematik ifodasi quyidagicha ko`rinishda bo`ladi:

$$S = k \ln \frac{v}{v_0} \quad (1)$$

bu yerda R- Bolsman doimiysi. (1) ifodani quyidagicha ham yozish mumkin:

$$S = k \ln v - k \ln v_0 = k \ln v_0 - S_0 \qquad (2)$$

bundagi S_0 - kattalikni entropiyaning hisob boshi uchun qabul qilish mumkin. U holda bu hisob boshidan boshlab hisoblangan entropiya yoki uning o`zgarishi $k \ln v$ ga teng bo`ladi.

Entropiya bilan ehtimollik orasidagi bog`lanish termodinamikaning ikkinchi bosh qonunini statistik nuqtai nazardan quyidagicha talqin qilishga imkon beradi: tabiatda har qanday protsess shunday amalga oshadiki, bunda sistema ehtimolligi katta bo`lgan holatga o`tadi. Shu bilan termodinamik talqin bo`yicha ikkinchi qonundagi qat`iylik o`z kuchini yo`qotadi. Chunki, o`z-o`zidan boruvchi protsessning ehtimolligi katta bo`lgan holatga olib kelishidan iborat bo`lgan dalil protsessning boshqa yo`nalishda ham ro`y berishini istisno qilmaydi. Masalan, fluktuasiyalar entropiyani (va ehtimollikning) kamayishi bilan ro`y beradigan holat o`zgarishlaridir. Muvozanat holatidan bunday kichik chetga chiqishlar entropiyaning ehtimollik xarakterda ekanligidan kelib chiqadigan shaksiz natijadir.

43§. ENTROPIYA VA TARTIBSIZLIK

Sistemaning tartibsizlik darajasi bilan uning entropiyasi orasida bog`lanish bor. Bu bog`lanish shundan iboratki, sistemaning tartibsizligi ortgan sari uning entropiyasi ham ortib boradi. Shuning uchun entropiyani tartibsizlik o`lchovi deb hisoblash mumkin. Buni misollar yordamida tushuntirishga harakat qilaylik.

Agar to`siq bilan ikkiga ajratilgan idishda ikki turli gaz bo`lsa, u holda sistemaning bunday holati bu gazlarning aralashmasi bo`lgandagidan tartibliroq bo`ladi. To`siq olinsa, ma`lum vaqtdan keyin gazlar aralashib ketadi. Natijada sistema entropiyasi ortadi. Moddaning qattiq holatdan suyuq holatga o`tishi yoki suyuq holatdan gazsimon holatga o`tishi tartibsizlikning va entropiyaning ortishiga olib keladi. Har qanday o`z-o`zidan ro`y beradigan tabiiy protsess shunday ro`y beradiki, bunda sistemaning tartibsizligi ortadi: jismlar temperaturasi o`z-o`zidan tenglashadi, gazlar bo`shliqqa o`z-o`zidan kengayadi, gazlar o`z-o`zidan aralashadi va hakazo.

Holat entropiyasi va ehtimolligi orasidagi bog`lanishni nazarda tutib shuni ham qayd qilib o`tish lozimki, katta tartibsizlik bilan xarakterlanadigan holat tartiblashganroq holatga nisbatan katta termodinamik ehtimollikka ega bo`ladi.

Tajribalar shuni ko`rsatadiki, temperatura pasayganda sistemada tobora ko`proq darajada tartiblanish kuzatiladi, ya`ni sistemaning entropiyasi kamayib boradi. Shunday ekan o`z-o`zidan quyidagi savol tug`iladi: entropiya kamayib borib o`zining ma`lum bir chegaraviy qiymatiga erishadimi yoki yo`qmi Bu savolga javob Nernstning issiqlik teoremasida (1906) berilgan. Uni ko`pincha termodinamikaning III -bosh qonuni deb ham yuritishadi va u quyidagicha ta`riflanadi: absolyut nolga yaqinlashganda entropiya muayan chekli chegaraga (limitga) intiladi; temperaturaning absolyut nolida sistemani bir muvozanat holatdan ikkinchi muvozanat holatga o`tkazuvchi barcha jarayonlar entropiya o`zgarmagan holda sodir bo`ladi.

Biz bu yerda ushbu qonun va undan kelib chiqadigan natijalar muhokamasi ustida to`xtalib o`tirmagan holda bu qonunning tajriba bilan mos keluvchi ba`zi bir natijalarini keltirib o`tish bilangina cheklanamiz. Bu qonundan kelib chiqadigan natijalarning asosiylari quyidagilar:

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning S_p va S_v issiqlik sig`imlari nolga intiladi;

-absolyut nolga yaqinlashganda barcha jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyenti va bosim termik koeffitsiyenti nolga intiladi.

44§. TEMPERATURANING TERMODINAMIK SHKALASI

Karno teoremasidan Karno siklining F.I.K. faqat isitkich va sovutkichning temperaturalarigagina bog`liq bo`lishi kelib chiqadi. Agar ishchi jism T_1 temperaturada issiqlikni yutib, T_2 temperaturada sovutkichga issiqlik bersa, u holda quyidagi munosabat o`rinli bo`ladi:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1)$$

Har qanday modda uchun o`rinli bo`lgan bu munosabat Karno mashinasidan o`ziga xos termometr sifatida foydalanishga imkon beradi. Bu termometr shkalasi bo`yicha o`lchanadigan temperatura termometrik moddaning turiga mutlaqo bog`liq bo`lmaydi. Shunisi borki, bu termometr temperaturalarning o`zini emas, balki bu ikki T_1 va T_2 temperaturalarning nisbatini aniqlashga imkon beradi. Tempe-raturalardan biriga aniq son qiymat berib, uning uchun biror yo`l bilan gradus o`lchovi tanlansa, u holda izlanayotgan temperaturani ham aniqlash mumkin.

Shunday yo`l bilan olinadigan temperaturalar shkalasi temperaturalarning termodinamik shkalasi deb ataladi. Bu shkalani 1848 yilda Kelvin tavsiya qilgan edi. Shuning uchun bu shkala bo`yicha o`lchanadigan temperaturani kelvinlarda o`lchash qabul qilingan.

Temperaturani bunday yo`l bilan o`lchash texnik jihatdan amalga oshirib bo`lmaydigan vazifa. Lekin termodinamikada temperaturalarning absalyut termodinamik shkalasi bilan ideal-gaz termometrining shkalasi ayniy ekanligi isbot qilingan. Termodinamik shkalani texnik jihatdan yasash mumkin bo`lmasada, undan kelib chiqadigan hulosalar katta ahamiyat kasb etadi. Shu haqda biroz to`xtalib o`taylik.

Absalyut termodinamik shkala manfiy qiymatlarni qabul qila olmaydi chunki, bu shkalaning noli $Q_1 = 0$ bo`lgandagi temperatura ekanligi (1) formuladan ko`rinib turibdi. Bu holda Karno mashinasining F.I.K. birga teng bo`ladi, binobarin, bundan past temperaturaning bo`lishi mumkin emas, chunki F.I.K. birdan katta bo`la olmaydi.

Issiqlik mashinasining F.I.K. termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko`ra hech qachon birga teng bo`lmaydi, chunki isitkichdan olingan issiqlik miqdori hech vaqt tamomila mexanikaviy ishga aylanmaydi. Shuning uchun absalyut nol temperaturaga ham erishish mumkin emas.

Kontrol savollar

1. Jarayon nima?
2. Qanday jarayonga muvozanatli jarayon deyiladi?
3. Qanday jarayonga qaytar jarayon deyiladi?
4. Siklik jarayon deb qanday jarayonga aytiladi?
5. Issiqlik mashinasi (yoki issiqlik dvigateli) deb nimaga aytiladi?

6. Foydali ish koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
7. Sovutish mashinasi qanday sikl bo`yicha ishlaydi va uning vazifasi nima?
8. Energiyaning saqlanish qonunining mazmuni nimadan iborat?
9. Termodinamikaning I va II-qonunlarining mazmuni nimadan iborat?
10.Karno teoremalarining mazmuni nimadan iborat?
11.Entropiyaning ortish qonuni qanday ta`riflanadi?

Masalalar

1-masala. Boshlang`ich hajmi 1 $m^3$ bo`lgan kislorod 200 kPa bosim ostida turibdi. Gazni avval o`zgarmas bosimda 3 $m^3$ hajmgacha, so`ngra esa o`zgarmas hajmda 500 kPa bosimgacha qizdirilgan bo`lsa: 1) gaz ichki energiyasining o`zgarishi; 2) u bajargan ish; 3) unga berilgan issiqlik miqdori topilsin.
Javobi: 1) 3,25 MJ; 2)0,4 MJ; 3) 3,65 MJ.

2-masala. Miqdori 1 mol bo`lgan ikki atomli ideal gaz $10^{-2}$ $m^3$ hajmga va 250 kPa bosimga ega. Gazni oldin 400 K haroratgacha izoxorik ravishda qizdirildi. So`ngra esa, izotermik kengaytirib, uni boshlang`ich bosimgacha olib borildi. Shundan so`ng izobarik siqish yo`li bilan gazni boshlang`ich holatga qaytarildi. Bunday siklning FIK ni-maga teng bo`lgan Javobi: 4,1%

3-masala. Porshenli silindrsimon idishda 300 K temperaturada massasi 20 g bo`lgan vodorod bor. Dastlab gaz adiabatik ravishda kengaya boshlab o`z hajmini besh martaga orttirdi, so`ngra esa izotermik ravishda siqilib, uning hajmi besh martaga kamaydi. Adiabatik kengayishning oxiridagi temperatura va gazning butun jarayon davomida bajargan ishi topilsin. Javobi: T= 157 K, A =8,8 kJ.

4-masala. Ikki atomli ideal gaz bir gal izotermik, ikkinchi gal adiabatik ravishda siqildi. Gazning har ikkala holdagi boshlang`ich bosim va temperaturalari bir xil. Oxirgi bosim boshlang`ich bosimdan: a) 2 marta; b) 100 marta katta bo`lgandagi adiabatik va izotermik protsesslardagi (jarayonlardagi) siqilish ishlari nisbati topilsin. Javobi: a) 1,5; b) 0,8.

5-masala. Ko`p atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat siklni bajardi. Bunda gazning eng katta bosimi eng kichik bosimidan ikki marta katta, eng katta hajmi esa eng kichik hajmidan to`rt marta katta bo`ldi. Siklning F.I.K. aniqlansin. Javobi: 11%

6-masala. Ideal gaz Karno siklini bajarmoqda. Isitkichning temperaturasi T_1 sovutkichning temperaturasi T_2 dan to`rt marta katta. Gaz bir siklda isitkichdan olinadigan issiqlik miqdorining qanday ulushini sovutgichga beradi Javobi: 0,25.

7-masala. Karno siklini bajarayotgan gazning eng kichik hajmi 153 l. Agar gazning izotermik kengayishining oxiridagi hajmi va izotermik siqilishining oxiridagi hajmi mos ravishda 600 l va 189 l ga teng bo`lsa, gazning eng katta hajmi aniqlansin. Javobi: 740 l.

8-masala. 1 kmol ikki atomli ideal gaz isitilganda uning absolyut temperaturasi 1,5 marta ortgan. Agar gaz: 1) izoxorik; 2) izobarik isitilsa entropiyaning o`zgarishi topilsin. Javobi: 1) $8{,}5\cdot10^3$ J K; 2) $11{,}8\cdot10^3$ J K.

9-masala. Issiq suv o`z issiqligini o`sha massali sovuq suvga berganda har ikkala suvning temperaturasi tenglashib qoladi. Shu jarayonda entropiyaning o`sishi ko`rsatilsin. Javobi: $\Delta S = m\ln\left[\frac{(T_1+T_2)^2}{4T_1\cdot T_2}\right]$ **f** 0

VI BOB. REAL GAZLAR

45§. MOLEKULALAR ORASIDAGI O`ZARO TA`SIR KUCHLARI

Ideal gaz qonunlari - taqribiy qonunlardir. Bu qonunlar yetarlicha kichik bosimlardagina o`rinli bo`lib, bosim qancha kichik bo`lsa, shuncha aniq bajariladi.

Ideal gaz qonunlaridan chetlanishlar real gaz molekulalari orasida ideal gaz nazariyasida e`tiborga olinmaydigan kuchlar borligi bilan bog`liq. Molekulalar va atomlar orasidagi (ximiyaviy birikmalar hosil bo`lmaydigan holdagi) kuchlar molekulyar kuchlar deyiladi. Molekulyar kuchlar atomlar va molekulalarni tashkil etgan elektr zaryadiga ega elementar zarrachalar orasidagi elektr o`zaro ta`sir kuchlaridan iborat. Bu kuchlar molekulalar orasidagi masofaga murakkab bog`langan bo`lib, masofa ortishi bilan tez kamayib boradi.

Uzoq masofalardan ta`sir etuvchi molekulyar kuchlar tortishish kuchlari bo`ladi. Atom va molekulalar elektr jihatdan neytral sistemalardir. Shunday ekan, tortishish kuchlarining vujudga kelishini qanday tushuntirish mumkin? Birinchidan, molekula ichidagi qarama-qarshi ishorali zaryadlar bir nuqtada ustma-ust tushmaydi. Shu tufayli ularning tashqi ta`siri bir-birini butunlay yo`qotmaydi. Ikkinchidan, tashqi maydon (qo`shni molekula maydoni) ta`sirida molekula ichida zarralar vaziyati o`zgaradi - musbat va manfiy zaryadlangan zarrachalar bir-biriga nisbatan qarama - qarshi yo`nalishda siljiydi. Bu hodisani elektr qutblanish deyiladi. Qutblangan molekula ta`sirida u bilan ta`sirlashayotgan molekula ham qutblanadi. O`zaro ta`sir natijasida ular bir-biriga qarama-qarshi zaryadlangan tomonlari bilan qarab qoladi. Natijada ular xuddi qarama-qarshi qutblari bilan bir-biriga qaragan magnitlar kabi tortishadi.

O`zaro ta`sirlashuvchi zarralarning elektron qobiqlari bir-birining ichiga kiradigan holdagi yaqin masofalarda molekulyar tortishish kuchlari o`rnini itarishish kuchlari oladi. Zarralar orasidagi masofa juda kichik bo`lganda itarish kuchlari juda katta bo`ladi. Masofa ortgan sari itarishish kuchlari tortishish kuchlariga nisbatan tezroq kamayadi.

46§. EKSPERIMENTAL IZOTERMALAR

Real gaz hajmining bosimga bog`lanishi haqidagi tajriba ma`lumotlari bilan ideal gaz holat tenglamasi orasidagi farq gaz holatida yuz beradigan muhim sifatiy o`zgarishlar bilan ham bog`liq bo`lib, bunday o`zgarishlar yuqori bosimlar va tegishli temperaturalarda kuzatiladi.

Gazlarning holatidagi bosim va temperaturaning ma`lum qiymatlarida ro`y beradigan sifat o`zgarishlari bu ularning gazsimon holatdan farq qiluvchi suyuq holatga o`tishidir. Bu hodisani ideal gazning holat tenglamasi bilan mutlaqo tushuntirib bo`lmaydi.

Quyida bu jarayonni ko`rib chiqaylik. Tekshirilayotgan gaz suriluvchi porshen bilan berkitilgan idishga qamalgan va uning temperaturasi o`zgarmas, lekin har bir gaz uchun xarakterli qiymatdan pastroq bo`lsin. Porshen yordamida gazning hajmini kamaytirganimiz sari uning bosimi dastlab hajmga teskari proporsional ravishda ortadi (14-rasm), so`ngra sekinroq ortadi (egri chiziqning AB qismi). Hajm V_2 qiymatga yetguncha shunday davom etadi. Hajmning keyingi V_1 gacha o`zgarishida bosim o`zgarmaydi. Bu vaqtda porshenning sirtida va idish devorlarida suyuqlik tomchilari paydo bo`la boshlaydi. Gazning suyuqlikka aylanishi (kondensasiya protsessi) $V_2$ hajmga mos keluvchi B nuqtada boshlanib, hajm V1 qiymatga erishganda gazning hammasi suyuq holatga o`tadi. V_1 hajmdan boshlab hajmning kichrayishi bosimning keskin ortishini talab qiladi. Chunki, suyuqlikni siqish gazni siqishga qaraganda ancha qiyin.

Izotermaning VC qismiga mos keluvchi bosim va hajmlarda idish hajmining bir qismi suyuqlik bilan, boshqa qismi esa to`yingan bug` deb ataluvchi gaz bilan band. To`yingan bug`ning bosimi esa berilgan temperaturada gaz hajmiga bog`liq emas.

Temperatura ortishi bilan izotermaning gorizontal qismi qisqarib boradi va kritik temperatura deb ataluvchi temperaturada bitta nuqtaga aylanadi (16-rasmga qarang). Kritik tempetatura (kritik holat) haqida keyingi mavzularda yana to`xtalib o`tsakda, shu narsani qayd qilib o`tish lozimki, kritik temperaturadan yuqori temperaturalarda gazni siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirib bo`lmaydi. Shu sababli **bug`** deganda ko`pincha siqilganda suyuqlikka aylanadigan gaz nazarda tutiladi.

Izotermadagi BC qismning mavjudligi ayni bir temperatura va bosimda bir moddaning bir vaqtda ikki holatda bo`lishi mumkinligini ko`rsatadi. Bu holatlar o`zlarining fizik xossalari bilan bir-biridan farq qiladi.

Umuman olganda, agar sistema fizikaviy jihatdan turli holatda bo`lgan va bir-biridan ajralib turuvchi bir jinsli qismlardan iborat bo`lsa, u holda bu qismlar uning **fazalari** deb ataladi.

Agar berilgan sharoitda moddaning ikki yoki undan ortiq fazalari bir-biriga tegib tursa va bunda biri ikkinchisining hisobiga o`smasa, moddaning bunday holati uning fazaviy muvozanati deb ataladi. Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o`tishi uning fazaviy o`tishi yoki fazaviy aylanishi deb ataladi. Moddaning tarkibiga qarab muvozanatda bo`ladigan fazalar soni turlicha bo`lishi mumkin.

47§. VAN-DER-VAALS TENGLAMASI

Holat tenglamasining molekulalarning chekli o`lchamlarini va ular orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarini nazarga olgan ko`rinishini birinchi marta 1873 yilda Van-der-Vaals tavsiya qilgan. Shuning uchun u tavsiya qilgan tenglama Van-der-Vaals nomi bilan ataladi. Bu tenglamani chiqarishda biz dastlab itarishish kuchlarini yoki (unga ekvivalent) molekulalarning chekli o`lchamga ega ekanini e`tiborga olamiz.

Bir mol gaz uchun yozilgan ideal gaz holatining

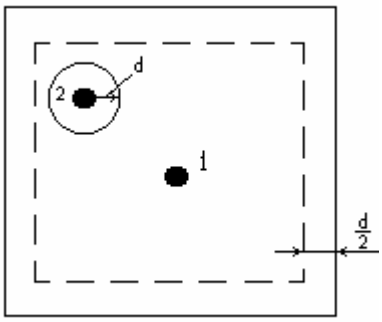
$$PV= RT \qquad (1)$$

tenglamasidagi V hajm har bir ideal gaz molekulasi erkin harakatlana olishi mumkin bo`lgan hajmdir. Chunki, ideal gaz molekulalari bir-biriga nolga teng bo`lgan masofagacha yaqinlasha oladi. Lekin real gaz holida idishning butun hajm molekulalar ixtiyorida emas, chunki har bir molekula idish hajmining biror qismini egallaydi. To`qnashuvlarda molekulalar markazlari d dan (effektiv diametr) kichik masofaga yaqinlasha olmaydi. Bu holni hisobga olish uchun idish hajmidan uning molekulalar harakatlanishi mumkin bo`lmagan qismini ayirib tashlash kerak. Hajmning bu qismini v bilan belgilasak, (1) tenglama quyidagi ko`rinishga keladi:

$$P(V-v) = RT \qquad (1)$$

Agar molekulalarni qattiq elastik sharlar deb faraz qilsak, v kattalikni hisoblash oson bo`ladi.

Kub shaklidagi V hajmli idishni ko`z oldimizga keltiraylik, unga berilgan bosim va temperaturada 1 mol gaz qamalgan bo`lsin (15-rasm). Molekula diametri d ga teng bo`lsa, u holda gaz molekulalari idish devoriga $\frac{d}{2}$ dan kichik masofagacha yaqin kela olmaydi.



Shuning uchun $\frac{d}{2}$ qalinlikdagi qatlamni olib tashlash kerak (6-rasmga qarang). Amalda idish o`lchamlari d dan juda katta bo`lganligi uchun bu qatlamni e`tiborga olish hisoblashlarga hech qanday aniqlik kiritmaydi.

15-rasm

Dastlab idishda ikkita bir xil molekula bor deb faraz qilamiz.

O`zaro to`qnashuvlarda molekulalar markazlari d dan kichik masofaga yaqin kela olmaydi. Agar 2-molekulani d radiusli sfera bilan o`rasak, ravshanki 1 - molekula bu sferaning ichiga kira olmaydi. Demak 1 - molekula erkin harakat qiladigan hajm, 2 - molekula borligi tufayli, bu molekulani chegaralovchi d - radiusli sfera hajmi qadar kamayadi. Bu miqdor ikkala molekula hajmlarining to`rtlanganiga teng.

Endi idishda N_0 ta bir xil molekula bo`lsin. To`qnashuvlarda asosan ikkita molekula ishtirok qiladi deb faraz qilamiz. U holda bu molekulalar erkin harakat qila oladigan hajm V hajmdan $\frac{N_0}{2}$ molekulani chegaralovchi sferalarning egallagan hajmi qadar kam bo`ladi:

$$V - N_0 \frac{2}{3} p\, d^3 = V - N_0 \frac{16}{3} p\, r^3 \qquad (3)$$

bu yerda r - molekula radiusi. Ravshanki, (3) kattalik (2) holat tenglamasidagi V-в kattalikdir. U holda v kattalik

$$в = \frac{16}{3} p \ r^3$$

ga, ya`ni gazning barcha $N_0$ ($N_0$ -Avagadro soni) ta molekulalarining to`rtlangan hajmiga teng.

Endi tortishish kuchlarini hisobga olamiz. Bu kuchlarning mavjudligi shunga olib keladiki, gaz molekulalarining bosimi, boshqa barcha sharoitlar birday bo`lgani holda, ideal gaz holidagidan kam bo`ladi. Chunki, idish devori yaqinida turgan ixtiyoriy molekulaning bir tomonidagi qo`shnilari boshqasidan, ya`ni devor tarafdagilardan ko`p bo`lgani uchun unga gazning ichiga qarab yo`nalgan natijaviy kuch ta`sir qiladi. Shu tufayli idish devoriga ta`sir qiluvchi bosim ideal gazdagiga nisbatan biror $\Delta P$ miqdor kam bo`ladi. U holda (2) ifodani ΔP ni e`tiborga olib quyidagi ko`rinishda yozish mumkin:

$$P = \frac{RT}{V - в} - \Delta P \text{ yoki } P + \Delta P = \frac{RT}{V - в} \qquad (4)$$

Bundagi ΔP bosim ichki yoki molekulyar bosim deyiladi. Uning nimaga bog`liq ekanini aniqlaylik. Bu molekulyar bosim gazning devorga yaqin turgan birlik sirtidagi barcha molekulalariga ta`sir qiluvchi tortishish kuchiga teng. Bu kuch molekulalar zichligi n ga proporsional. Ikkinchi tomondan tortishish kuchi ta`sir qiluvchi devorga yaqin molekulalar soni ham n ga proporsional. Demak, $\Delta P \sim n^2$ yoki n gaz egallagan hajmga teskari proporsional bo`lgani uchun

$$\Delta P = \frac{a}{V^2} \qquad (5)$$

bo`ladi. Bu yerda V gazning molyar hajmi, a -proporsionallik koeffitsiyenti. (4) va (5) tengliklarni nazarda tutib 1 mol real gaz uchun holat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - в) = RT \qquad (6)$$

Gazning ixtiyoriy miqdori uchun u quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$\left(P + \frac{m^2}{m^2} \cdot \frac{a}{V^2}\right)\left(V - \frac{m}{m} в\right) = \frac{m}{m} RT \qquad (7)$$

Van-der-Vaals tenglamasidagi a va $в$ tuzatmalar o`zgarmas kattaliklar bo`lib, ularning son qiymatlari turli gazlar uchun turlicha. Shu sababli (7) tenglama Klapeyron tenglamasi kabi universal emas. Lekin, bu tenglama gazlarning xarakterini sifat jihatidan to`g`ri ifodalaydi.

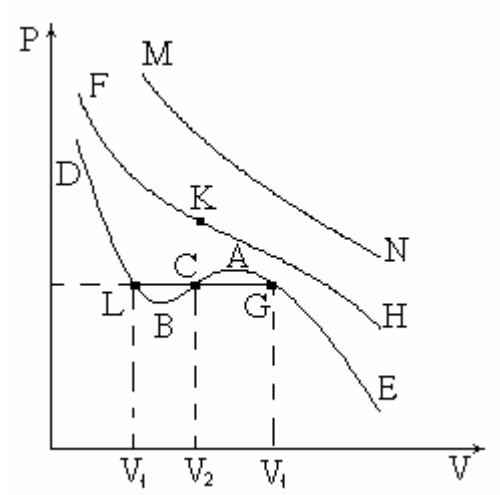
48§. VAN-DER-VAALS IZOTERMALARI

Van-der-Vaals tenglamasini uncha murakkab bo`lmagan o`zgartirishlardan keyin quyidagi ko`rinishga keltirish mumkin:

$$V^3 + \left(в + \frac{RT}{P}\right)V^2 + \frac{a}{P}V - \frac{aв}{P} = 0 \qquad (1)$$

Bu tenglama V bo`yicha uchinchi darajali tenglama bo`lib, u bitta yoki uchta haqiqiy ildizga ega bo`ladi. Har bir ildizga PV diogrammada bir nuqta mos keladi. Agar temperatura yuqori bo`lsa, izoterma monoton pasayuvchi, MN egri chiziq ko`rinishida bo`ladi va bosimning tegishli qiymatlariga (1) tenglamaning bittadan

ildizi to`g`ri keladi. Pastroq temperaturalarda va P bosimning ba`zi bir qiymatlarida (1) tenglama $V_1$, $V_2$, $V_3$ uchta ildizga ega. Bunday hollarda P=const izobara, izotermani L, C, G uchta nuqtada kesib o`tadi (16-rasm). Biror oraliq temperaturada V_1, V_2, V_3, uchta ildiz bir-biriga teng bo`lib qoladi (K-nuqta). FKH izotermaning bukilish nuqtasi K kritik nuqta va unga mos keluvchi holatga kritik holat deyiladi. Bu holatga mos kelgan T_k, R_k va V_k lar mos ravishda kritik temperatura, kritik bosim va kritik hajm deyiladi.



16-rasm

Van-der-Vaals izotermasi bilan tajribada olingan izoterma orasida katta farq bor. Rasmdan ko`rinib turibdiki, to`g`ri chiziqli gorizontal LCG qism o`rniga izotermada to`lqinsimon LBCAG soha bor. Izotermaning DL qismi suyuq holatga, GE qismi esa gazsimon holatga mos keladi.

Egri chiziqning VSA qismidagi nuqtalariga mos keluvchi holatlarning bo`lishi mumkin emas, chunki bosim ortganda hajm ortishi mumkin emas. Izotermaning AG va LB qismiga mos keluvchi holatlar metastabil holatlar deyiladi va bu holatlarni amalda namoyon qilish qiyin.

FKH izotermaning kritik nuqtasiga mos keluvchi holatida moddaning gazsimon va suyuq holati orasidagi farq yo`qoladi. Bu holatga mos keluvchi kritik holat parametrlari quyidagi ifodalar yordamida topiladi:

$$V_k = 3в, \quad P_k = \frac{a}{27в}, \quad T_k = \frac{3a}{27Rв}$$

Van-der-Vaals tenglamasiga modda holatining chin tenglamasi deb emas, balki, model tenglama deb qarash lozim. Chunki, bu tenglama konkret ideallashtirilgan model asosida olingan bo`lib, tajriba ma`lumotlarida bu tenglamadan ancha muhim chetlanishlar ham mavjuddir.

49§. VAN-DER-VAALSNING KELTIRILGAN TENGLAMASI

Ideal gazlarning izotermalari gazlarning tabiatiga bog`liq emas. Real gazlar uchun ham holat tenglamasini gaz tabiatiga bog`liq bo`lmaydigan qilib yozish mumkin. Buning uchun hajm, bosim va temperatura birliklari sifatida ularning kritik qiymatlarini qabul qilish kerak. ónday birliklarda o`lchanadigan bu kattaliklar keltirilgan bosim, hajm va temperatura deb ataladi. Ular quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$v = \frac{V}{V_k}, \quad \frac{P}{P_k} = p \quad ва \quad \frac{T}{T_k} = q \quad (1)$$

Bu o`lchamsiz o`zgaruvchilar orqali yozilgan holat tenglamasi keltirilgan holat tenglamasi deyiladi. Keltirilgan holat tenglamaning ko`rinishi quyidagicha:

$$\left(p+\frac{3}{v^2}\right)\left(v-\frac{1}{3}\right)=\frac{8}{3}q \qquad (2)$$

Bu tenglamadan shu narsa kelib chiqadiki, agar turli gazlar uchun w, π, θ uchta keltirilgan parametrdan qaysidir ikkitasining qiymatlari mos tushsa, u holda uchinchi parametrning qiymati ham mos tushadi. Bu qonun mos holatlar qonuni deyiladi.

50§. GAZ HOLATDAN SUYUQ HOLATGA O`TISH

Birinchi bo`lib gazni (ammiakni) siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirgan olim Van Marum (XVIII asr oxiri) edi. Van Marumdan so`ng gazlarni siqish yo`li bilan suyuq holatga o`tkazish borasida ko`p urinishlar bo`ldi. Lekin uzoq vaqt nima uchun ba`zi gazlarni siqqanda suyulish yuz berishi, boshqalarini siqqanda suyulish yuz bermasligi noaniqligicha qolaverdi. Ingliz fizigi Tomas Endryusning 1861-1869 yillar davomida bajargan ishlari natijasida yuqoridagi savolga javob topiladi. Endryus karbonat angidridning izotermalarini turli temperaturalarda sistematik o`rgandi va bu tadqiqotlar asosida kritik temperatura tushunchasini kiritdi. U o`zining tadqiqotlari asosida quyidagi xulosaga keldi: gazning temperaturasi kritik temperaturadan pastda bo`lgan holdagina gazni siqish yo`li bilan suyuqlikka aylantirish mumkin. Agar gaz temperaturasi kritik temperaturadan yuqori bo`lsa, bosimni har qancha oshirganda ham gazni suyuqlikka aylantirib bo`lmaydi.

51§. REAL GAZNING ICHKI ENERGIYASI

Ideal gazning ichki energiyasi bu gazning hajmiga bog`liq bo`lmasdan, faqat uning temperaturasi bilan aniqlanadi. Real gaz uchun ichki energiya faqat temperaturaga emas, balki shu gaz egallagan hajmga ham bog`liq bo`ladi. Chunki gaz molekulalarining o`zaro ta`sir potensial energiyasi molekulalar orasidagi masofaga, ya`ni zichlikka ham albatta bog`liq bo`ladi.

Ichki energiya ifodasini chiqarishda ideal qattiq sharlar modelidan foydalanilsa, u holda faqatgina sharlar to`qnashganda paydo bo`ladigan itarishish kuchlariga hech qanday potensial energiya mos kelmaydi. Bu holda potensial energiya faqat molekulalararo tortishish kuchlarigagina bog`liq bo`ladi. Van-der-Vaalñ gazining izotermik kengayishida ichki $\Delta P=\frac{в}{V^2}$ bosimga qarshi bajargan ishi uning potensial energiyasi o`zgarishiga teng bo`ladi. Gazning V_1 hajmdan V hajmgacha kengayishida potensial energiyasi o`zgarishi esa quyidagiga teng:

$$\int_{V_0}^{V}\Delta P dV=\int_{V_1}^{V}\frac{a}{V^2}dV=-\frac{a}{V}+\frac{a}{V_1} \qquad (1)$$

Bu tenglamadan ko`rinadiki, real (1 mol) gazning egallagan V hajmiga mos keluvchi potensial energiyasi - $a/V$ ga teng ekan. Buni gaz molekulalarining issiqlik harakati kinetik energiyasiga qo`shib, biz gazning ichki energiyasi ifodasini hosil qilamiz:

$$U=U(T)-\frac{a}{V} \qquad (2)$$

Shuni qayd qilib o`tish lozimki, olingan natija moddaning faqat bir fazali holatlari uchungina to`g`ridir.

52§. JOUL - TOMSON EFFEKTI

Gazni yetarlicha katta, biroq o`zgarmas bosimda issiqlikdan izolyasiyalangan g`ovak to`siq orqali oqib o`tish jarayoni adiabatik hodisa bo`ladi. Gazning po`kak orqali stasionar oqishi Joul-Tomson protsessi va bunday oqishda gaz temperaturasining o`zgarishi Joul-Tomson effekti deb ataladi.

Gazlarning bunday oqishida temperaturaning o`zgarishi faqat real gazlarda kuzatiladi. Ideal gaz xuddi shunday kengayganida esa uning temperaturasi mutlaqo o`zgarmaydi.

Joul-Tomson protsessida real gaz temperaturasining pasayishiga sabab shuki, bunda gaz kengayib molekulyar kuchlarga qarshi ish bajaradi. Bu ish hisobiga molekulalarning issiqlik harakat energiyasi va demak, gazning temperaturasi o`zgaradi. Molekulalarning o`zaro ta`sir kuchlari nolga teng bo`ladigan ideal gazlarda Joul-Tomson effekti ham nolga teng bo`ladi.

Joul-Tomson effekti miqdoriy jihatdan Joul-Tomson differensial koeffitsiyenti deb ataluvchi μ koeffitsiyent bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent gazning ΔT temperatura o`zgarishining bu o`zgarishni yuzaga keltirgan ΔP bosim o`zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi. $m = \frac{\Delta T}{\Delta P}$ (1)

Ideal gazlar uchun $\mu = 0$ ga teng. Agar gazning bosimi unchalik katta bo`lmasa (100÷200 atm bo`lsa), u holda Van-der-Vaals gazi uchun μ koeffitsiyent quyidagiga teng bo`ladi: $m = \frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{\frac{2a}{RT} - в}{C_p}$ (2)

Agar $\frac{2a}{RT} - в$ **f** 0 bo`lsa, $\mu > 0$ 0 bo`ladi va gaz soviydi. Aksincha $\frac{2a}{RT} - в$ **p** 0 bo`lsa $\mu < 0$ 0 bo`ladi va gaz isiydi. $T_i = \frac{2a}{RB}$ bo`lganda temperatura o`zgarishi nolga teng: $T_i = \frac{2a}{Rв} = \frac{27}{4} T_k$ (3)

Bu temperatura Joul-Tomson effekti inversiya temperaturasi deyiladi. Bu temperaturadan past temperaturalarda Joul-Tomson jarayonida gaz soviydi, undan yuqori temperaturalarda esa gaz isiydi. Ko`pinchalik gazlar uchun inversiya temperaturasi xona temperaturasidan ancha yuqori bo`ladi. Bunday gazlar uchun Joul-Tomson effekti musbat. Vodorod va geliy uchun inversiya temperaturasi xona temperaturasidan ancha pastda bo`ladi. Ular uchun Joul-Tomson effekti manfiy, ya`ni bu gazlar Joul-Tomson jarayonida isiydi.

Texnikada Joul-Tomson effektidan past tempera-turalar hosil qilish va gazlarni suyultirishda foydalani-ladi.

Kontrol savollar

1. Molekulalar orasidagi o`zaro ta`sir kuchlarining mavjudligi qanday tushuntiriladi?
2. Real gaz ideal gazdan nimasi bilan farq qiladi?
3. Ideal gaz izotermalari bilan eksperimental izotermalar orasidagi farq qanday tushuntiriladi?
4. To`yingan bo`g` nima?
5. Kritik holat nima?
6. Real gazning ichki energiyasi uning qaysi parametrlariga bog`liq?
7. Joul-Tomson effekti nima?
8. Joul-Tomson effektini qanday hollarda musbat yoki manfiy effekt deyiladi?
9. Qanday gazga bug` deyiladi?
10.Qanday sharoitlardagina gazni suyuq holatga o`tkazish mumkin?

Masalalar

1-masala. P=2 atm bosimda 820 sm^3 hajmdagi 2g azotning temperaturasi qanday bo`ladi Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin. Javobi: 1) T=280 K, 2)T=280 K. Demak kichik bosimda gaz o`zini ideal gazdek tutadi.

2-masala.10^8 Pa bosimda 10 g geliy 100 sm^3 hajmni egallaydi. Gazni: 1) ideal va 2) real deb hisoblab, uning temperaturasi hisoblansin.

Javobi: 1) T_1= 482 K, T_2 =204 K.

3-masala. 0,5 m^3 hajmli yopiq idishda $5\cdot10^8$ Pa bosimda 0,6 kmol karbonat angidrid gazi bor. Van-der-Vaals tenglamasidan foydalanib, bosimni ikki marta orttirish uchun temperaturani necha marta orttirish kerakligi topilsin. Javobi: 1,85

4-masala. Sig`imi 8 l bo`lgan ballonda 300 K haroratda 0,3 kg bo`lgan kislorod bor. Idish sig`imining qanday qismini gaz molekulalarning xususiy hajmi tashkil qiladi. Gaz ichki bosimi ΔP ning gazning idish devorlariga bosimi P ga nisbati aniqlansin. Javobi: 1) 0,91%, 2) 6,3%.

5-masala. Modda miqdori 1 mol bo`lgan karbonat angidrid kritik holatda turibdi. Gaz adiabatik qizdirilganda uning hajmi ikki marta oshdi. Agar kritik harorati 304 K bo`lsa, gaz haroratining o`zgarishi topilsin. Javobi: ΔT=28 K.

6-masala. 20 l sig`imli ballonda 80 mol qandaydir gaz joylashganyu 14^0S da gaz bosimi 90 at. ga teng 63^0S da gaz bosimi 109 at. ga teng. Shu gaz uchun Van-der-Vaals doimiylarini xisoblab chiqing.

Javobi: $v=4\cdot10^{-5}$ m^3/mol, $a=0,133$ $N\cdot m^4/mol^2$.

7-masala. Van-der-Vaals formulasidan foydalanib V>>b shart bajariladigan zichlikli gazlardagi izotermik jarayonlar tekshirilsin. a) Qanday temperaturada gaz ideal gazga qaraganda ko`proq siqiluvchan, qanday temperaturada kamroq siqiluvchan bo`ladi? b) Qanday temperaturada real gazdagi izotermik jarayonlar ideal gazdagi kabi o`tadi? Karbonat angidrid va vodorod uchun shunday temperaturalar topilsin.

Javobi: a) T>aG`Rb bo`lganda ko`proq siqiluvchan. b)1024K (karbonat angidrid uchun) 112K (vodorod uchun).

8-masala. Silindrdagi porshen ostida 20 g massali xlor bor. Gaz hajmi 200 sm^3 dan to 500 sm^3 gacha izotermik kengaytirilganda gaz ichki energiyasining ortishi aniqlansin. Javobi: ΔU=154 J.

9-masala. Gaz doimiy temperaturada(300 K) kengayadi, bunda 1 mol gazning hajmi 1,5 l dan 15 l gacha ortadi. V_m>>v shart bajariladi, deb faraz qilib, 1 mol gazning kengayishdagi ish aniqlansin. Hisob: a) azot uchun, b) vodorod uchun bajarilsin. Javobi: 5640 J mol, b) 5680 J mol.

10-masala. Azot 147^0S kritik temperaturada 0.12 l/mol kritik hajmga ega. Uni Van-der-Vaals tenglamasiga bo`ysunadi deb, 7 g azotning bo`shliqqa 5 l li hajmdan 50 l li hajmgacha kengayishidagi temperatura kamayishini toping. Javobi: -0,013^{0}S.

11-masala. Bir mol Van-der-Vaals gazi bo`shliqqa $V_1$ hajmdan $V_2$ hajmgacha kengayganida uning temperaturasi o`zgarmay qolishi uchun qancha issiqlik miqdori kerak bo`ladi. Javobi: $Q = a \cdot \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right)$

VII BOB. SUYUQLIKLARNING XOSSALARI

53§. SUYUQLIKLARNING TUZILISHI

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

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

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

54§. SIRT TARANGLIK

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

$$s = \frac{\Delta A}{\Delta S} \qquad (1)$$

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

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

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

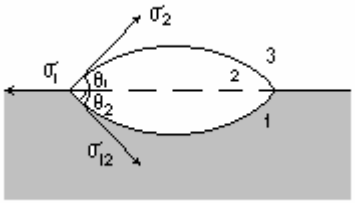
Agar suyuqlik sirtini chegaralovchi chiziqning (ajralish chizig`ining) uzunligi $\mathbf{l}$ ga va shu chiziq bo`ylab ta`sir qiluvchi sirt taranglik kuchi $f$ ga teng bo`lsa, u holda sirt taranglik koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida topila-di:

$$s = \frac{f}{\mathbf{l}} \qquad (2)$$

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

55§. IKKI MUHIT CHEGARASIDAGI MUVOZANAT SHARTLARI

Uchta muhit o`zaro chegaradosh bo`lgan holni ko`rib chiqaylik (17-rasm). Bu rasmda ko`rsatilgandek, 2-suyuqlikning tomchisi 1-suyuqlikning sirtida joylashtirilgan. 3-muhit - bu 1 va 2 - suyuqliklar bug`larining havo bilan aralashmasi.



17-rasm

Gazsimon muhit suyuqliklarning sirt energiyalariga deyarli ta`sir ko`rsatmaydi deb hisoblaylik. 2-tomchining shakli tegishli ikki muhitning tegishish sirtiga urinma bo`ylab yo`nalgan sirt taranglik kuchlari yoki tegishli sirt taranglik

koeffitsiyentlari -σ_1, σ_2, va σ_{12} orasidagi munosabatga bog`liq bo`ladi. 2-suyuqlik muvozanatda bo`lishi uchun har uchala sirt taranglik koeffitsiyentlarining vektor yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak:

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

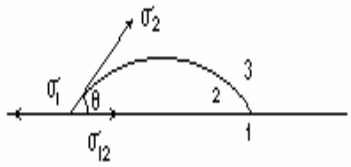
(1) ifodani skalyar ko`rinishda yozsak, quyidagi tenglamani olish mumkin:

$$s_1^{\ 2} = s_2^{\ 2} + s_{12}^{\ 2} + 2s_2 \cdot s_{12}(q_1 + q_2) \quad (2)$$

bu yerda θ_1 va θ_2 burchaklar chegaraviy burchaklar deyiladi.

Agar $\sigma_1 > \sigma_2 + \sigma_1$ bo`lsa $\theta_1 + \theta_2 = 0$ bo`ladi va bu holda tomchi 1- suyuqlik sirtida yupqa qatlam tarzida yoyilib ketadi. Bunday holda 1-suyuqlikni 2-suyuqlik tamomila ho`llaydi deb yuritiladi. Agar $\vec{s}_1 \ \mathbf{p} \ \vec{s}_2 + \vec{s}_{12}$ bo`lsa, u holda 2 suyuqlik $\vec{s}_1 = \vec{s}_2 + \vec{s}_{12}$ bo`lgunga qadar tortiladi. Bu holda suyuqlik yosmiqsimon shaklga ega bo`ladi.

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



18-rasm

Bu hol uchun muvozanat sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_1 = \sigma_{12} + \sigma_2 \cos\theta \qquad \text{yoki} \qquad \cos\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma 2}$$

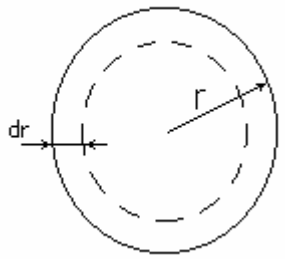
(3)

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

Ko`pincha qisman ho`llash $\left(q \ \mathbf{p} \ \frac{p}{2}\right)$ yoki qisman ho`llamaslik $\left(q \ \mathbf{f} \ \frac{p}{2}\right)$ oraliq hodisalari kuzataladi.

56§. SUYUQLIKNING EGRI SIRTIDA YUZAGA KELUVCHI BOSIM

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



Faraz qilaylik shar shaklidagi suyuqlik bu bosim ta`sirida o`z haj-mini 19-rasmda ko`rsatilgandek dV ga kamaytirgan bo`lsin. Bunda bajarilgan ish suyuqlik sirt energiyasining kamayishi hisobiga bo`ladi.

19-rasm

Siqish ishi

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

bo`ladi. Sirt energiyasining kamayishi esa

$$dF = s \cdot dS \qquad (2)$$

ga teng. Shar hajmining va sirtining uning radiusini dr ga kamayishiga mos keluvchi o`zgarishlari quyidagilarga teng bo`ladi:

$$dS = 8p\ rdr, \qquad dV = 4p\ r^2 dr \qquad (3)$$

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

$$P4p^2 dr = s\ 8prdr \qquad (4)$$

Bundan suyuqlikka uning egri sirti ko`rsatayotgan bosim uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi: $P = \frac{2s}{r}$ (5)

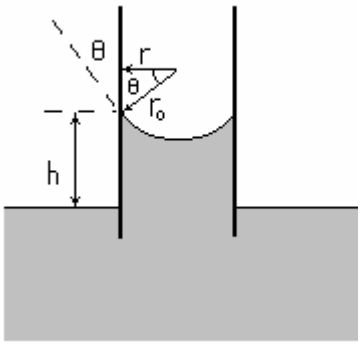
Agar suyuqlik sirti silindrik shaklda bo`lsa, u holda qo`shimcha bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi: $P = \frac{s}{r}$ (6)

Umumiy holda har qanday shakldagi sirt uchun, sirtning egriligi bilan bog`liq bo`lgan qo`shimcha bosim Laplas tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan aniqlanadi: $P = s\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ (7)

Bu yerdagi $\mathbf{r_1}$ va $\mathbf{r_2}$ - sirtning berilgan nuqtasidagi yoki aniqrog`i sirtning shu berilgan elementi uchun asosiy egrilik radiuslari.

Laplas bosimining ta`siri kapillyar idishlarda sezilarli bo`ladi. Bunday idishlarda suyuqlik sirtining egrilik radiusi suyuqlik solingan idishning o`lchamlari tartibida bo`ladi. Kapillyar idishlarda bo`ladigan hodisalar kapillyar hodisalar deyiladi.

Kapillyarlik bilan bog`liq bo`lgan eng xarakterli hodisalardan biri suyuqlikning kapillyar nayda ko`tarilishidir (20-rasm).



20-rasm

Bu rasmda suyuqlikli keng idishga tushirilgan ingichka naycha tasvirlangan. Bundagi r - naychaning radiusi, r_0 -suyuqlik sirtining egrilik radiusi.

Sirtning egriligidan hosil bo`lgan bosim tufayli naychadagi suyuqlik yuqoriga qarab yo`nalgan

$$P = \frac{2s}{r_0} \qquad (8)$$

bosim ta`siriga duch keladi. Natijada suyuqlik nay bo`ylab toki bu bosim suyuqlik ustunining rgh gidrostatik bosimi bilan muvozanatga kelguncha ko`tariladi. Quyidagi

$$r\ gh = \frac{2s\ \cos q}{r} \qquad (9)$$

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

$$h = \frac{2s\ \cos q}{r\ gr} \quad (10)$$

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

57§. SUYUQLIKLARNING BUG`LANISHI VA QAYNASHI

Suyuqlikning sirt qatlamida joylashgan molekulalarning suyuqlikdan tashqariga uchib chiqib, bug` fazasiga o`tishi **bug`lanish** deyiladi. Molekulalarning suyuqlik tashqarisiga chiqishi uchun ular suyuqlikda qoluvchi molekulalar tortishish kuchini yengishi, ya`ni bu kuchlarga qarshi ish bajarishi kerak. Bundan tashqari modda suyuq holatdan gaz holatga o`tishda o`z hajmini o`zgartirishi uchun tashqi bosimga qarshi ham ish bajarishi kerak. Bu ishlar molekulalar issiqlik harakatining kinetik energiyasi hisobiga bajariladi.

Bunday ishni bajarishga hamma molekulalar ham qodir bo`lavermaydi, ularning faqat yetarlicha katta kinetik energiyaga ega bo`lgan qismigina bunday ishni bajarishi mumkin. Shuning uchun bug`lanish suyuqlikdagi tez molekulalar sonining kamayishiga, ya`ni uning sovishiga olib keladi. Tez bug`lanuvchan suyuqlik masalan, efir bilan ho`llangan terining tez sovishi ana shu effektning natijasidir. Demak, suyuqlikni uning temperaturasini o`zgartirmagan holda bug`lantirish uchun unga issiqlik berish kerak.

Ma`lum suyuqlik miqdorini izotermik bug`lantirish uchun kerak bo`ladigan issiqlik miqdori Q ga bug`lanishning yashirin issiqligi deyiladi. Suyuqlikning massa birligiga to`g`ri keluvchi yashirin bug`lanish issiqligi **solishtirma bug`lanish issiqligi** deb ataladi.

Bug`lanish issiqligi suyuqlik molekulalari orasidagi bog`lanish kuchlarining miqdoriy xarakteristikasidir. Bu kuchlar qancha katta bo`lsa, bug`lanishning yashirin issiqligi ham shuncha katta bo`ladi.

Suyuqlikning **qaynashi** uning butun hajmi bo`ylab bug`lanish jarayoni bo`lib, bu hodisa suyuqlikning keskin holda bug` pufakchalari hosil qilib, ularning suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilishi tarzida ro`y beradi. Suyuqlikning qaynash temperaturasi tashqi bosimga bog`liq. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin.

Faraz qilaylik biror sababga ko`ra suyuqlikda gaz pufakchasi paydo bo`lgan bo`lsin. Bu pufakcha darhol suyuqlikning to`yingan bug`i bilan to`ladi. Ma`lumki, to`yingan bug`ning bosimi temperaturaga bog`liq. Agar suyuqlikning temperaturasi shunday bo`lsaki, bunda pufakcha ichidagi to`yingan bug` bosimi suyuqlik ustidagi tashqi bosimdan kichik bo`lsa, u holda pufakcha kattalashmaydi. Temperatura orta borib, pufakcha ichidagi suyuqlik to`yingan bug`lari bosimi tashqi bosimga tenglashadigan qiymatiga yetganida pufakcha kattalasha boshlaydi va Arximed kuchi ta`sirida yuqoriga ko`tarilib, suyuqlik sirtida yoriladi.

58§. SUYUQ ERITMALAR

Turli moddalarning aralashmasidan iborat bo`lgan suyuqliklar **suyuq eritmalar** deb ataladi. Eritmada ko`proq miqdorda bo`lgan suyuqlik **erituvchi** deb ataladi. Masalan, osh tuzi va suvdan tashkil topgan eritmada suv erituvchi bo`lib xizmat qiladi.

Eritmalar miqdoriy jihatdan konsentrasiya, ya`ni erigan moddaning eritmaga nisbatan nisbiy ulushi (og`irlik ulushi, molyar ulushi) yoki erituvchining massa birligiga (ba`zan, hajm birligiga) to`g`ri keluvchi grammlarda ifodalangan miqdori bilan o`lchanadi.

Eritmalarning xossalarini o`rganishda bosim va temperatura bilan bir qatorda konsentrasiya ham holatning asosiy parametrlaridan biri bo`ladi.

Erish jarayoni eruvchi modda zarralarining erituvchi modda zarralari bilan o`zaro ta`siri natijasidir. Erituvchi modda zarralari bilan eruvchi modda zarralari ora-sidagi o`zaro ta`sir natijasida eruvchi modda zarralari orasidagi tortishish kuchlari susayadi va ularning bir-biridan ajralishi osonlashadi. Temperatura ortishi bilan ajralish jarayoni tezlashadi. Issiqlik harakati tufayli erigan modda zarralari butun erituvchi hajmi bo`ylab tarqaladi. Ba`zi hollarda erish vaqtida erigan modda zarralarining tabiati ham o`zgaradi. Bunday hol erigan modda molekulalarining musbat va manfiy ionlarga ajralishi natijasida vujudga keladi.

Erish paytida eritma turiga qarab eritma temperaturasi ortishi, kamayishi yoki o`zgarmasdan qolishi mumkin. Erish paytida temperaturasi o`zgarmaydigan eritmalar **ideal eritmalar** deb ataladi. Agar eritmalarda erigan modda konsentrasiyasi juda kam bo`lsa, u holda har qanday eritmani ham ideal eritma deb hisoblash mumkin.

Eritmalarning fizik xossalari toza suyuqliklarning xossalaridan farq qiladi. Masalan, birday temperaturada eritma ustida erituvchi suyuqlik to`yingan bug`larining bosimi toza erituvchi ustidagi to`yingan bug`lar bosimidan (elastikligidan) kam bo`ladi. Raulning birinchi qonuniga ko`ra juda kichik konsentrasiyali eritmalar uchun eritma ustidagi erituvchi modda to`yingan bug`lari elastikligining kamayishi erigan modda konsentrasiyaga proporsional ekan:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n+N} \qquad (1)$$

bu yerda n va N-mos ravishda erigan va erituvchi modda molekulalari soni, P_0-toza erituvchi moddaning xuddi shu temperaturadagi to`yingan bug`lari bosimi, P-erituvchi moddaning eritma ustidagi to`yingan bug`lari bosimi.

Eritma ustidagi to`yingan bug` bosimining sof erituvchi ustidagi bosimidan kam bo`lishi eritma qaynash temperaturasining kamayishiga olib keladi. Raulning ikkinchi qonuniga ko`ra eritma qaynash temperaturasining kamayishi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$\Delta T = \frac{RT^2}{L} N_k \qquad (2)$$

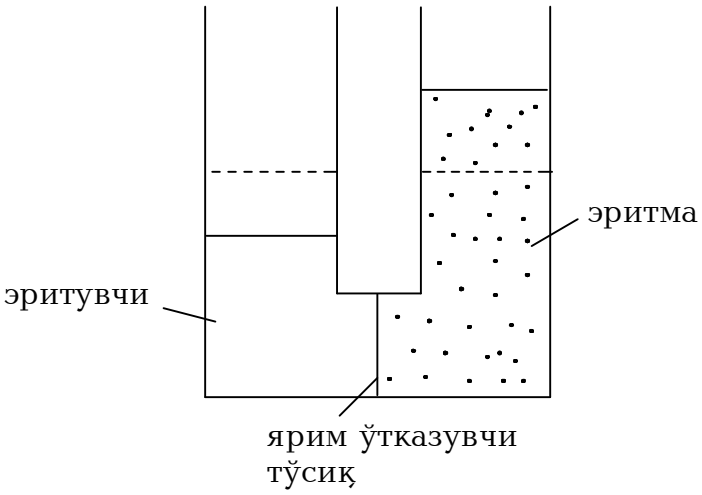
Bu yerda L -sof erituvchining molyar bug`lanish issiqligi, N_k-eritmaning konsentrasiyasi (erigan moddaning molyar ulushi), R-universal gaz doimiysi.

Eritma qotish temperaturasining sof erituvchi qotish temperaturasiga nisbatan pasayishi (2) formula kabi ifoda bilan aniqlanadi. Bunda faqat L o`rnida solishtirma erish issiqligi λ olinadi.

59§. OSMOTIK BOSIM

Erituvchining molekulalari o`ta oladigan, lekin erigan modda molekulalari o`ta olmaydigan to`siqlar mavjud bo`lib, bunday to`siqlar yarim o`tkazuvchan to`siqlar deb ataladi.

Agar yarim o`tkazuvchan to`siq bilan ajratilgan tutash idishning bir tomonga sof erituvchi ikkinchisiga esa eritma solinsa, u holda to`siq orqali sof erituvchining molekulalari eritma egallagan hajmga o`ta boshlaydi. Bu hodisaga **osmos** deyiladi. Osmos natijasida sof erituvchi va eritma orasida bosimlar farqi vujudga keladi (21-rasm). Osmos natijasida vujudga kelgan bosimlar farqiga **osmotik bosim** deyiladi.



21-rasm

Agar eritma kuchsiz bo`lsa, osmotik bosim eritmaning konsentrasiyasiga proporsional bo`lar ekan.

(Vant - Goff qonuni -1887 yil):

$$P = \frac{n\,RT}{V} \quad (1)$$

Bu yerda V-eritmaning hajmi, n - erigan modda mollari soni, R-universal gaz doimiysi, T - temperatura

(1) formula kuchsiz eritmalardagi osmotik bosim ideal gaz qonunlari bo`ysunadigan qonunga bo`ysunishini ko`rsatadi. Bunga sabab shuki, ideal gazning zarralari o`zaro ta`sirda bo`lmagani singari kuchsiz eritmalarda erigan moddaning molekulalari ham o`zaro ta`sirlashmaydi.

Osmos hodisasi hayvonlar va o`simliklar hayotida katta rol o`ynaydi. To`qimalarda suvning va suvda erigan moddalarning taqsimlanishi ko`p jihatdan osmotik bosim bilan aniqlanadi. Chunki, tirik organizmda modda almashinuvi o`simlik va hayvonlar hujayralarining yarim o`tkazuvchi to`siqlari orqali amalga oshiriladi.

Kontrol savollar

1. Suyuqlik molekulalari qanday harakat qiladi?
2. Sirt taranglik kuchlarining mavjudligi qanday tushuntiriladi?
3. Sirt taranglik koeffitsiyenti nima?
4. Nima uchun suyuqlik sirti ortganda yoki kamayganda sirt taranglik kuchlari o`zgarmaydi?

5. Sirt taranglik koeffitsiyenti temperaturaga qanday bog`langan?
6. Xo`llash va xo`llamaslik sababi nimada?
7. Laplas bosimining yuzaga kelish sababi nimada?
8. Qaynash nima? Qaynash temperaturasi bosimga qanday bog`langan?
9. Eritma nima? Qanday eritmalar ideal eritmalar deb ataladi?
10.Osmotik bosimning yuzaga kelishi sababi nimada?

Masalalar

1-masala. Suv-moy chegarasidagi sirt tarangligini 0,018 N/m deb olish mumkin. Agar suv ichida moy tomchisining maydalanish jarayoni izotermik bo`lsa, unda 1 g massali moy tomchisini $2\cdot 10^{-4}$ sm diametrli mayda tomchilarga aylanti-rish uchun qancha ish bajarish kerak? Moy zichligi 0,9 g sm3. Javobi: A= $6\cdot 10^{-2}$J.

2-masala. Puflab sovun pufagining diametrini 1 sm dan 11 sm gacha orttirish uchun qancha ish bajarish kerak? Jarayon izotermik deb hisoblansin.
Javobi: A= 3 mJ.

3-masala. Hajmi V_1 10 cm3 dan $2V_1$ gacha izotermik ravishda ortgan sovun pufagi sirtining erkin energiyasining o`zgarishi aniqlansin. Javobi: 106 mkJ.

4-masala. U cimon nay tirsaklaridagi suyuqlik sathlarining farqi 23 mm. Nay tirsaklari kanallarining diametrlaridan biri 2 mm ga ikkinchisi 0,4 mm ga teng. Suyuqlikning zichligi 0,8 g/sm^3 bo`lsa. Uning sirt taranglik koeffitsiyenti nimaga teng? Javobi: 22,5 mN/m.

5-masala. Simob solingan idishning tubida teshigi bo`lib, simob ustunining balandligi 3 sm ga teng bo`lganda idishdagi simob oqib ketmasligi uchun, teshikning diametri eng ko`pi bilan qanday bo`lishi kerak? Javobi: 0,5 mm.

6-masala. Kesim yuzi 30 sm^2 bo`lgan shisha idishga simob quyildi. Agar idishning tubida 0,5 mm diametrli teshik bo`lsa, idishda qancha miqdorda simob qoladi? Javobi: 1,22 kg.

7-masala. Suv o`rgimchagi suvning sirtida yugurib harakatlanmoqda. O`rgimchakning sakkizta oyog`idan har birining ostida radiusi 0,1 mm ga teng yarim sferadan iborat chuqurcha hosil bo`lsa, o`rgimchakning og`irligi nimaga teng? Javobi: 275 mkN.

8-masala. O`ramlari 9x12 sm bo`lgan ikkita ho`llangan shisha plastikani bir-biridan surmasdan ajratish qanday kuch kerak bo`ladi? Plastinkalar orasidagi suv qatlamining qalinligi 0,05 mm ga teng va suv plastinkalarni to`la ho`llaydi deb hisoblansin. Javobi: 32 N.

9-masala. 500 sm^3 suvda 15 g qand eritilgan. Agar eritmaning harorati 100^{0}S bo`lsa, eritma ustidagi bug`ning bosimi qancha bo`ladi? Eritma zichligini 1 g/sm^3 deb olinsin. Javobi: ΔP=159,9 Pa

10-masala. 500 sm^3 suvda 1,5 g natriy xlorid eritilgan. Agar natriy xloridning hammasi to`la dissotsiasiyalangan deb hisoblansa, 0^{0}S temperaturada eritmadagi osmotik bosim qancha? Javobi: P=230 kPa.

VIII BOB. QATTIQ JISMLARNING XOSSALARI

60§. QATTIQ JISMLAR

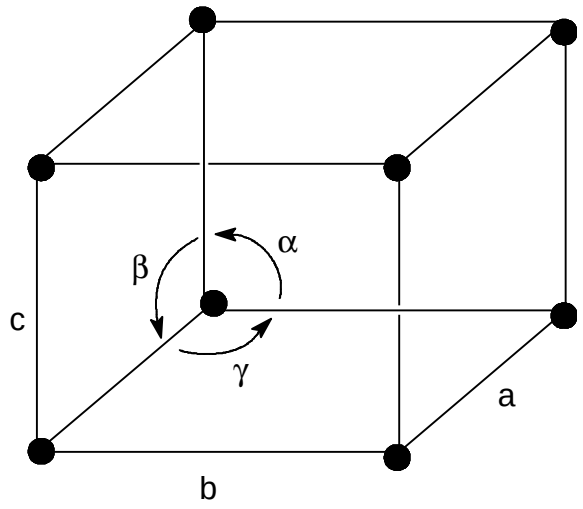
Qattiq jismlar o`zlarining xossalariga qarab ikki turga bo`linadi. Ulardan birlari **kristall jismlar** deb ataladi, ikkinchilari esa **amorf jismlar** deb ataladi. Amorf jismlar shakllarini saqlash qobiliyatiga ko`ra qattiq jismlarga tegishli bo`ladi, biroq boshqa xossalari jihatidan suyuqliklardan farq qilmaydi. Masalan, amorf jismlar suyuqliklar kabi izotrop bo`ladi, ya`ni ularning fizik xossalari hamma yo`nalishlar bo`yicha bir xil. Bu tur moddalar o`z tabiatiga ko`ra qovushoqligi juda katta bo`lgan suyuqliklarga o`xshash bo`ladi. Shu sababli ular odatdagi va past temperaturalarda oqa olmaydi. Biroq temperatura ortganda ularning qovushoqligi kamayib borib, suyuqliklarga xos oqish qobiliyatiga ega bo`lib boradi.

Haqiqiy qattiq jismlarda, ya`ni kristall jismlarda temperatura ortishi bilan bunday yumshoqlanish ro`y bermaydi. Kristall jismlar ham temperatura ortganda suyuq holatga o`tadi. Biroq, bunday o`tish har bir kristall modda uchun aniq bir temperaturada - **erish temperaturasida ro`y** beradi. Kristall jismlarni amorf jismlardan farqlovchi yana bir muhim xususiyati ularning **anizatropligi**, ya`ni kristall jismlar fizik xossalarining turli yo`nalishlar uchun bir xil emasligidir. Kristall va amorf jismlar xossalaridagi farqlar ularning ichki tuzilishidagi o`ziga xoslik bilan tushuntirilishi mumkin.

Kristall jismlarda ularni tashkil qilgan atomlar (yoki boshqa zarralar) bir-biriga nisbatan aniq bir tartibda joylashgan bo`lib, bunday tartib jismning butun hajmiga tegishli bo`ladi. Bunday tartib uzoq tartib nomini olgan. Amorf va jumladan suyuq jismlarda faqat yaqin qo`shni atomlargina tartibli joylashgan bo`lishi mumkin (yaqin tartib). Shuni qayd qilib o`tish lozimki, ba`zi kristall jismlarda, masalan, metallarda anizotroplik hamma vaqt ham nomoyon bo`lavermaydi. Bunga sabab, bu jismlarning juda ko`p mayda kristalchalardan tashkil topganligidadir. Bunday jismlar monokristallardan (zarrachalari butun hajm bo`yicha tartib bilan joylashgan) farqli ravishda polikristallar deb ataladi. Kristallanish jarayonida mo-no-yoki polikristallarning hosil bo`lishi, bu jarayon qanday sharoitlarda o`tishga bog`liq bo`ladi.

61§. KRISTALL PANJARALAR

Yuqorida aytganimizdek, kristallarning asosiy xususiyati uni tashkil qilgan zarralarning (atomlar, molekulalar yoki ionlarning) fazoda tartib bilan joylashganligidir. Fazoda tartib bilan joylashgan bunday atomlar (yoki boshqa zarralar) to`plamidan tashkil topgan strukturaga **kristall panjara** deb ataladi. Atomlarning o`zi joylashgan nuqtalarni (aniqrog`i, ularni muvozanat holatlarida joy-lashgan nuqtalarini) kristall **panjara tugunlari** deyiladi. Kristall panjara "katakchalardan" tashkil topgan. Katakcha (yoki **elementar yacheyka**) kristall panjaraning shunday eng kichik qismiki, uni o`z-o`ziga paralell ko`chirish orqali butun kristall panjarani hosil qilish mumkin (22-rasm).



22-rasm

Kristallografiyada fazoviy panjaralar tasavvurini gi-poteza tariqasida O. Brave 1848 yilda kiritgan. Rus olimi Ye.S. Federov simmet-riya haqidagi matematik ta`limotni yaratdi va kristallarda zarrachalarning barcha tasavvur qilinadigan fazoviy joylashishlarini ko`rsatib berdi.

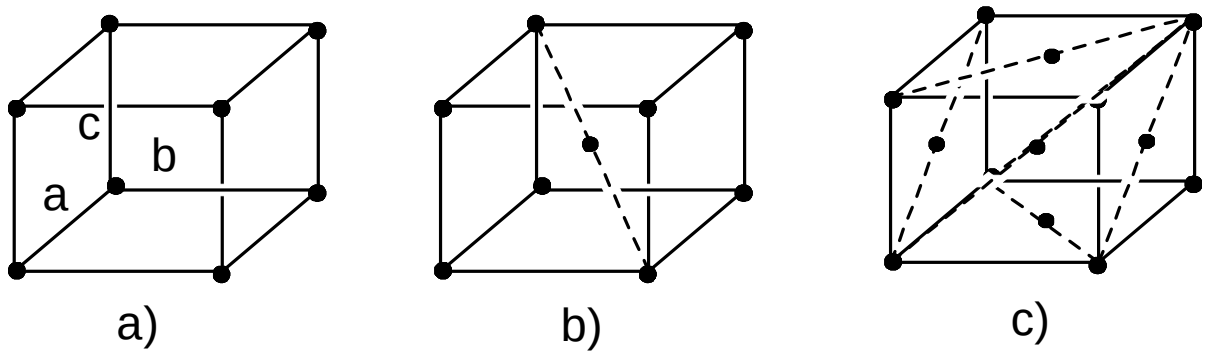
Tekshirishlar hammasi bo`lib simmetriya belgilariga ko`ra 32 simmetriya sinfiga birlashtiriluvchi 230 ta fazoviy gruppalar mavjud ekanini ko`rsatadi.
Kristallning yoki jismlarning simmetriyasi uning simmetriya operasiyalari deb ataladigan o`rin almashtirishlarida o`z-o`zi bilan ustma-ust tushish xossalarini ifodalaydi. Simmetriya almashtirishlariga quyidagilar kiradi: 1) jismning barcha nuqtalarini ma`lum masofaga parallel ko`chirish-translyasiya; 2) jismni biror o`q (simmetriya o`qi) atrofida biror burchakka burilishi; 3) simmetriya tekisligida akslanishi; 4) inversiya yoki nuqtada (simmetriya markazida) akslanish va bunday almashtirishlarning barcha kombinasiyalari. Simmetriya o`qi, simmetriya tekisligi, nuqtalar (simmetriya markazi) va boshqalar simmetriya elementlari deyiladi. Biror kristall panjara ega bo`lgan barcha simmetriya elementlari to`plami bu panjara-ning **fazoviy gruppasi** deyiladi.

Simmetriya elementlari turli kristallarda turlicha kombinasiyada uchraydi. Simetriya elementlarining mumkin bo`lgan har bir kombinasiyasi **simmetriya sinfi** deb ataladi va bunday kombinasiyalarning umumiy soni 32 ta.

Elementar yacheykalarning shakliga qarab kristallar 7 ta simmetriya sistemasiga ajratiladi. Yacheykalar qirralarini (22-rasm) a, v, s lar bilan, qirralar orasidagi burchaklarni α, β, γ lar bilan belgilaymiz. Yettita kristallografik sistemalar elementar yacheykalarning parametrlari quyidagicha:

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

Yuqorida qayd qilib o`tilgan panjaralar ichida eng simmetrigi kubik sistemaga kiruvchi panjaradir (23-rasm).



23-rasm

Ulardan birinchisi (23a-rasm) oddiy kubik panjara, ikkinchisi (23v-rasm) hajmiy va uchinchisi (23s-rasm) yoqlari markazlashgan kubik panjara deb atalidi.

Metallarda kristall panjaraning tugunlarida metall atomining musbat ionlari joylashgan bo`lib, ular orasida erkin elektronlar harakatlanib yuradi. Molekulalardan tashkil topgan ba`zi moddalarning kristall panjarasi tugunlarida molekulalar joylashgan. Ko`pchilik ximiyaviy birikmalar (masalan, osh tuzi NaCl, xlorli seziy CsCl, rux temirtoshi ZnS, flyuorit CaF_2, kuprit Cu_2O, rutil TiO_2) kristall panjaralarining tugunlarida ionlar joylashgan.

62§. KRISTALLOGRAFIK KOORDINATA TIZIMI

Kristalllardagi turli tekisliklar va yo`nalishlarni farqlash uchun maxsus koordinatalar sistemasidan foydalaniladi. Buning uchun panjara tugunlaridan biri koordinata boshi qilib, panjara elementar yacheykasining mos qirralarini esa koordinata o`qi qilib olinadi. Bunday sistemada koordinatalar mos yo`nalishdagi atomlararo masofalarga teng bo`lgan birliklarda o`lchanadi. Bunday uzunlik birliklarini o`q bo`yicha birliklar deyiladi va bu birliklar turli koordinata o`qlari bo`yicha turlicha bo`ladi.

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

Kristall panjaradagi biror tugunlar chizig`ining yo`nalishini ko`rsatish uchun shu yo`nalish bo`ylab ixtiyoriy uzunlikdagi vektor tanlanadi va uning koordinata o`qlari bo`ylab tashkil etuvchilari aniqlanadi. Bu holda bu vektor tashkil etuvchilarining nisbatlariga teng bo`lgan eng kichik butun sonlar yo`nalishlarning indekslari bo`ladi. Masalan, vektorning tashkil etuvchilari mos ravishda 4, 6 va 8 bo`lsa, bu vektorga muvofiq bo`lgan yo`nalishning indekslari 2, 3 va 4 bo`ladi. Simvolik ravishda bu yo`nalish quyidagicha belgilanadi: [234].

Kubik kristallarda biror yo`nalishga mos keluvchi indekslar to`plami shu yo`nalishga perpendikulyar bo`lgan tekislikning Miller indekslari to`plami bilan bir xil bo`ladi. Masalan, kubning (111) tekisligiga perpendikulyar bo`lgan yo`nalishining indekslari [111] bo`ladi.

63§. QATTIQ JISMLARDA ISSIQLIK HARAKATI VA QATTIQ JISMLARNING ISSIQLIK SIG`IMI

Qattiq jismning zarralarini (atomlarini) kristall panjara tugunlarida joylashgan moddiy nuqtalar to`plami deb qarash mumkin. Atomlar panjara tugunlaridagi muvozanat vaziyatlari atrofida issiqlik tebranishlari bajaradi. Har bir atomning energiyasi uning kinetik va potensial energiyalari yig`indisidan iborat bo`ladi.

Kristall panjaraning tugunida turgan har bir zarra tebranishini koordinata o`qlari bo`ylab uchta tashkil etuvchiga ajratish mumkin. Har bir tashkil etuvchining energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig`indisidan iborat bo`ladi. Har bir tebranishga ikkita erkinlik darajasi to`g`ri kelishini e`tiborga olsak, qattiq jismning har bir zarrasi oltita erkinlik darajasiga ega ekanligi ma`lum bo`ladi. Har bir erkinlik darajasiga o`rtacha kT energiya to`g`ri keladi. Shu sababli bitta atomga to`g`ri keluvchi o`rtacha energiya 3kT teng bo`ladi. Bu kattalikni Avogadro soniga ko`paytirib, qattiq jism bir molining ichki energiyasi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$U = 3RT \qquad (1)$$

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

$$C_v = \frac{dU}{dT} \qquad (2)$$

ifodani hosil qilamiz.

(2) ifodadan ko`rinadiki, qattiq holatdagi barcha ximiyaviy elementlarning molyar issiqlik sig`imi hamma elementlar uchun temperaturaga bog`liq bo`lmagan va birday qiymatga ega bo`lgan kattalikdir. Bu xulosaga Dyulang va Pti qonuni deb ataladi.

Agar qattiq jism sifatida molekulasidagi atomlar soni n ta bo`lgan ximiyaviy birikma olinsa, u holda bu qattiq jismning molyar issiqlik sig`imi molekulalari bir atomli bo`lgan moddanikidan n marta katta bo`ladi, ya`ni qattiq birikmaning molyar issiqlik sig`imi u tarkib topgan elementlarning molyar issiqlik sig`imlari yig`indisiga teng bo`ladi. Ko`rinadiki, bu holda ham issiqlik sig`imi temperaturaga bog`liq bo`lmagan kattalik bo`ladi.

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

Issiqlik sig`imining temperaturaga bog`liqligini Plank tomonidan rivojlantirilgan kvantlar nazariyasiga tayanib Eynshteyn (1907 yilda), keyinroq esa Debay va boshqalar nazariy jihatdan ko`rsatib berdilar.

Kvant nazariyasiga muvofiq molekulalarning energiyasi diskret va ularning energiyasi $h\nu$ kattalikka butun karralidir:

$$E = nhn \quad (3)$$

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

$$U = 3N_a \frac{hn}{e^{\frac{hn}{KT}} - 1} \quad (4)$$

Katta T larda (4) ifoda 3RT ga teng qiymatni olib, klassik nazariya bilan mos tushadi. Debay o`z nazariyasida tebranish chastotalarining butun bir to`plami mavjud deb faraz qildi. U juda past temperaturalarda qattiq jismning ichki energiyasi absalyut temperaturaning to`rtinchi darajasiga proporsional ekanligini aniqladi:

$$U = aT^4 \quad (5)$$

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

$$C_v = 4aT^3 \quad (6)$$

Bu ifodadan ko`rinadiki, juda past temperaturalarda issiqlik sig`imi absolyut temperaturaning kubiga proporsional ekan. Umuman olganda issiqlik sig`imining temperaturaga bog`lanishi juda murakkab bo`lib, Debayning kublar qonuni faqat juda past temperaturalarda - absolyut nol yaqinidagina issiqlik sig`imining temperaturaga bog`lanishini to`g`ri ifodalaydi. Ba`zi qattiq jismlar uchun o`ta past temperaturalarda Debayning kublar qonuni o`rinli bo`lmay qoladi. Masalan, A.A.Tarasov nazariyasiga binoan qatlamli tuzilishga ega bo`lgan jismlar uchun past temperaturalarda issiqlik sig`imi absolyut temperaturaning kvadratiga proporsional bo`lib qolar ekan. Tarasovning bu nazariyasi grafit, galliy va boshqa jismlar uchun tajribada tasdiqlangan. Zarrachalari zanjirsimon bog`lanishda bo`lgan qattiq jismlarning issiqlik sig`imi Tarasov nazariyasiga binoan absolyut nol yaqinida temperaturaning birinchi darajasiga proporsional bo`ladi.

64§. QATTIQ JISMLARNING ERISHI VA SUBLIMATSIYASI

Modda qattiq holatdan suyuq holatga ham, suyuq holatni chetlab gazsimon holatga ham o`tishi mumkin. Qattiq jismlarning suyuq holatga o`tish jarayoni erish deb ataladi. Kristall jismlarning erishi izotermik jarayonda, ya`ni erish o`zgarmas temperaturada ro`y beradi. Erish paytida temperaturaning o`zgarmasligiga sabab, bu jarayonda unga berilayotgan issiqlikning barchasi kristall panjaraning buzilishiga sarflanadi.

Tashqi bosim ortganda erish temperaturasi ortadi. Uning ortishiga sabab shuki, tashqi bosim atomlarni o`zaro yaqinlashtiradi, shu sababli erishda atomlarni bir-biridan uzoqlashtirish, ya`ni kristallni buzish uchun yuqori bosimda kattaroq issiqlik harakati kerak bo`ladi. Bunga esa temperaturani orttirish yo`li bilan erishish mumkin.

Qattiq jismlarning bug`lanishi **sublimasiya** deb ataladi. Ko`p qattiq moddalar sezilarli darajada bug`ga aylanmaydi. Lekin, shunday kristall moddalar

ham borki, ular sezilarli darajada bug`lanib turadi. Bunga misol qilib naftalin bilan kamforani ko`rsatish mumkin. Muz ham shunday xossaga ega. Shuning uchun sovuqda tashqariga ilib quyilgan ho`l kiyim-bosh avval muzlab, so`ng bir qancha vaqtdan keyin quriydi, demak muz bug`lanib ketadi. Sublimasiya yuz berishiga sabab shuki, vaqti - vaqti bilan ki-netik energiyasi tutinish kuchlarini yengishga yetarli bo`lgan atom yoki molekulalar jism sirtidan ajralib chiqib, atrofdagi gaz atmosferasiga ketib turadi.

Sublimasiya qonunlari suyuqliklarning bug`lanish qonunlariga o`xshash. Sublimasiya issiqligi erish issiqligi bilan bug` hosil qilish issiqliklarining yig`indisiga teng bo`ladi.

Qattiq jismning bug`lanuvchi zarralari qattiq jism sirtida bug` hosil qiladi. Ma`lum bosim va temperaturada bug` va qattiq jism muvozanatda bo`lishi mumkin. Qattiq jism bilan muvozanatda bo`lgan bug` ham to`yingan bug` deb ataladi. Suyuqliklardagi singari, qattiq jism ustidagi to`yingan bug`ning bosimi ham temperaturaga bog`liq bo`ladi va temperatura pasayishi bilan tez kamayadi.

65§. BIRINCHI VA IKKINCHI TUR FAZAVIY O`TISHLAR

Birinchi tur fazaviy o`tishlarga modda agregat holatining o`zgarishi misol bo`la oladi. Masalan, moddaning suyuq va gazsimon holatdan qattiq holatga o`tishi (kristallanish), suyuqlikning bug`lanishi va aksincha o`tishlar birinchi tur fazaviy o`tishlardir. Bu turdagi fazoviy o`tishlarda jism energiya ajratadi yoki yutadi. Shu sababli energiyaning yoki energiya bilan bog`liq bo`lgan boshqa kattaliklarning sa-krashsimon o`zgarishi bilan bo`ladigan fazaviy o`tishlar birinchi tur fazaviy o`tishlar deb ataladi.

Birinchi tur fazaviy o`tishlarda yangi faza birato`la butun hajmda paydo bo`lmaydi. Dastlab yangi fazaning markazlari hosil bo`lib, so`ngra ular o`sib butun hajmga tarqaladi.

Moddaning qattiq holati turli kristall tuzilishlarga, ya`ni turli modifikasiyalarga ega bo`lishi mumkin. Masalan, qattiq uglerod grafit yoki olmos ko`rinishida mavjud bo`la oladi. Qattiq temir to`rt xil modifikasiyada ($\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - va $\delta$ temir) mavjud bo`lishi mumkin. Ba`zi suyuqliklar ham turli modifikasiyalar ko`rinishida mavjud bo`la oladi. (masalan, suyuq geliy I va geliy II). Temperatura va bosim o`zgarganda ba`zi modifikasiyalar boshqalariga aylanishi mumkin. Bunday aylanishlar ikkinchi tur fazaviy o`tishlar deb ataladi.

Ikkinchi tur fazaviy o`tishlarda issiqlik ajralmaydi yoki yutilmaydi, shuningdek, moddaning solishtirma hajmi o`zgarmaydi. Bunday o`tish butun hajmda kristall panjaraning uzluksiz o`zgarishi, ya`ni panjarada zarralarning o`zaro qayta joylashishi natijasida darhol ro`y beradi. Odatda bunday o`tish ma`lum bir temperaturada ro`y beradi. Ikkinchi tur fazaviy o`tish sodir bo`ladigan bu temperaturaga Kyuri nuqtasi deb ataladi. O`tish nuqtasida ikki turli fazaning muvozanati bo`lmaydi, chunki o`tish butun hajmda birdaniga sodir bo`ladi. Bunday o`tishda issiqlikning ajralishi yoki yutilishi ro`y bermasada, o`tish nuqtasidan yuqori va past temperaturalarda moddaning issiqlik sig`imi va hajmiy kengayish koeffitsiyenti turlicha bo`ladi.

Ba`zi bir ikkinchi tur fazaviy o`tishlarda kristall tuzilishining o`zgarishi ro`y bermaydi. Masalan, magnit qotishmalarning ferromagnit holatdan paromagnit holatga o`tishi bunday o`tishga taalluqlidir. Ba`zi metallarning normal holatdan o`ta o`tkazuvchan holatga o`tishi ham shunday o`tishga misol bo`ladi. Bu jarayon mutlaq nolga yaqin temperaturada yuz beradi va elektr qarshilikning nolgacha sakrashsimon kamayishi bilan xarakterlanadi.

Fazaviy o`tishlarda asosiy rolni fizikaviy kattaliklarning fluktuasiyalari o`ynaydi. O`tish nuqtasi yaqinida fluktuasiya bilan qamrab olingan hajmda yangi faza hosil bo`lish ehtimoli ortadi. Masalan, zichlikning fluktuasiyasi kristalanish markazining yuzaga kelishiga sabab bo`ladi. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o`tishlarda o`tish nuqtasi yaqinida fluktuasiyalar turlicha rivojlanadi.

Birinchi tur fazaviy o`tishlarda o`tish nuqtasiga yaqinlashgan sari yangi fazaga sabab bo`ladigan fluktuasiyalar soni ortib boradi va ularning hosil bo`lish joylarida yangi fazaning markazlari paydo bo`la boshlaydi. Ikkinchi tur fazaviy o`tishlarda yangi faza birdaniga butun hajmda paydo bo`ladi. Shu sababli har qanday mikroskopik fluktuasiyalar fazaviy o`tishga olib kelmaydi. O`tish nuqtasiga juda yaqin bo`lgan holatlarda yuzaga keluvchi fluktuasiyalargina yangi fazaning vujudga kelishiga sabab bo`lishi mumkin. O`tish temperaturasiga yaqinlashgan sari yangi fazaga o`tishga sabab bo`luvchi fluktuasiyalar moddaning tobora katta hajmni qamrab oladi va nihoyat o`tish nuqtasida ular cheksiz ko`p bo`lib qoladi, ya`ni yangi faza butun hajmda birdaniga hosil bo`ladi.

Ikkinchi tur fazaviy o`tishlar birinchi tur fazaviy o`tishlarga nisbatan ancha murakkab bo`lib, o`tish nuqtasi atrofida bo`ladigan hodisalar va jarayonlar hali oxirigacha to`liq o`rganilgan emas.

Kontrol 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 panjaraga sodda, hajmiy markazlashgan va yoqlari markazlashgan panjaralar deyiladi?
7. Issiqlik sig`imining temperaturaga bog`liqligi qanday tushuntiriladi?
8. Erish va sublimasiya nima?
9. Erish temperaturasi tashqi bosimga qanday bog`langan?
10. I va II - tur fazaviy o`tishlar bir-biridan nima bilan farq qiladi?

Masalalar

1-masala. Hajmi va qirrasi markazlashgan kubsimon panjaralarning elementar yacheykasiga to`g`ri keluvchi tugunlar soni aniqlansin. Javobi: 2 va 4.

2-masala. Koordinata o`qlarini 2, 1 va 1 birligiga mos keluvchi nuqtalarida joylashgan tugunlar orqali o`tuvchi tekislik uchun Miller indekslari topilsin. Panjara kubsimon. Javobi (122).

3-masala. Oddiy kubsimon panjaraning koordinatalari A(1,0,0) va V(0,0,1) bo`lgan tugunlari orqali o`tuvchi to`g`ri chiziqning ko`rsatkichlari topilsin. Javobi (101).
4-masala. Oddiy kubsimon panjaraning tekisliklari tizimi (111) ko`rsatkichlar bilan berilgan. Agar panjara doimiysi 0,3 nm bo`lsa, qo`shni tekisliklar orasidagi masofa aniqlansin. Javobi: 0,173 nm.
5-masala. Agar panjarasining qirrasi markazlashtirilgan kubsimon shaklda ekanligi va eng yaqin qo`shni atomlari orasidagi masofa 0,43 nm ga tengligi ma`lum bo`lsa, stronsiy kristallining zichligi topilsin. Javobi: $2,6 \cdot 10^3$ kg /m^3
6-masala. Agar eng yaqin qo`shnilari orasidagi masofa 0,304 nm ga teng bo`lsa, kristallning nisbiy atom massasi aniqlansin. Panjara hajmi markazlashtirilgan kubsimon shaklda. Kristallning zichligi ρ=534 кг/$м^3$. Javobi: 6,95 (litiy).
7-masala Kalsiy kristallining panjara parametri a va eng yaqin qo`shni atomlar orasidagi masofa d aniqlansin. Panjara qirrasi markazlashtirilgan kubsimon bo`lib, kristallning zichligi ,$55 \cdot 10^{-3}$ кг/$м^3$. Javobi: a=0,56 нм, d=0,4 нм.
8-masala. Kubsimon panjarada tekislik (011) Miller ko`rsatkichlari bilan to`g`ri chiziqning yo`nalishi esa (111) ko`rsatkichlari bilan berilgan. To`g`ri chiziq va tekislik orasidagi φ burchak aniqlansi. Javobi: $\varphi=54^0 40'$.

9-masala. Klassik nazariyadan foydalanib NaCl va $CaCl_2$ kristallarining solishtirma issiqlik sig`imlari S hisoblansin. Javobi: 825 J/kg· K, 675 J/ kg · K.
10-masala. Issiqlik muvozanatida bo`lgan klassik chiziqli garmonik ossillyatorning o`rtacha energiyasi uchun formula chiqarilsin. Javobi: E=кT.

Predmet ko`rsatkich

Absolyut temperatura (25)
Absolyut nol temperatura (26)
Avogadro soni (27)
Avogadro qonuni (29)
Adiabata (47)
Adiabatik jarayon (46)
Anizatropiya (102)
Aristotel g`oyasi (6)
Atom (6)
Boze-Eynshteyn statistikasi (36)
Bozonlar (36)
Binomal taqsimot (17)
Boyl-Mariot qonuni (28)
Bolsman doimiysi (26)
Bosim (22)
Bolsman taqsimoti (32)
Broun harakati (31)
Bug`lanish (96)
Van-der-Vaals tenglamasi (84)
Van-der-Vaals izotermalari (85)

Vant-Goff qonuni (99)
Gauss taqsimoti (14)
Gey-Lyusak qonuni (28)
Gradus (24)
Dalton qonuni (29)
Dinamik usul (9)
Diffuziya (53)
Diffuziya koeffitsiyenti (54)
Diffuziya oqimi (53)
Diskret (13)
Jarayonlar (63)
Joul-Tomson effekti (87)
Zarracha (6)
Ideal gaz (22)
Izoterma (47, 68, 80)
Issiqlik mashinalari (65)
Issiqlik miqdori (41)
Issiqlik sig`imi (43)
Issiqlik harakati (6)
Isitkich (65)
Ish (41)
Yo`nalishlar indekslari (104)
Karno sikli (67)
Kapillyarlik (95)
Kvant nazariyasi (45)
Kelvin shkalasi (25)
Klauzius tengsizligi (71)
Konsentrasiya (22,27)
Konsentrasiya gradiyenti (54)
Kristall panjara (103)
Kritik temperatura (84)
Ko`chish hodisalari (52)
Laplas bosimi (95)
Lomonosov g`oyasi (6)
Makroskopik holat (15)
Maksvell taqsimoti (33)
Maksvell-Bolsman taqsimoti (35)
Miller indekslari (103)
Mendeleev - Klapeyron tenglamasi (28)
Modda miqdori (27)
Modellar (8)
Moddiy nuqta modeli (8)
Muvozanatli jarayon (63)
Muvozanatsiz jarayon (63)
Nisbiy tezlik (52)

Nyton g`oyasi (6)
Osmotik bosim (99)
Perren tajribasi (32)
Plank doimiysi (107)
Politropik jarayon (47)
Puasson tenglamasi (46)
Raul qonuni (98)
Real gazlar (79)
Real gazlar ichki energiyasi (87)
Simmetriya (103)
Simmetriya markazi (104)
Simmetriya elementlari (103)
Sirt taranglik (91)
Sirt taranglik kuchlari (92)
Sirt taranglik koeffitsiyenti (92)
Sovutkich (65)
Statistik usul (10)
Statistik vazn (16)
Sublimasiya (109)
Taqsimot funksiyasi (13)
Termodinamik muvozanat (23)
Temperatura (23)
Termometr (24)
Termometrik kattalik (24)
Termometrik modda (24)
Universal gaz doimiysi (27)
Fazaviy o`tishlar (109)
Fermi-Dirak statistikasi (35)
Fluktuasiya (18)
Selñiy shkalasi (25)
Siklik jarayon (67)
Shtern tajribasi (29)
Eynshteyn tenglamasi (107)
Entropiya (70,75)
Eritmalar (97)
Erish (108)
Erkinlik darajasi (39)
Erkin yugurish yo`li (52)
Effektiv kesim yuzi (52)
Ehtimollar nazariyasi (10)
Ehtimollik (11)
Ehtimolliklarni qo`shish (11)
Ehtimolliklarni ko`paytirish teoremasi (12)
O`rtacha qiymat (12)
Qaynash (97)

Qaytar jarayon (64)
Qaytmas jarayon (64)
Qovushoqlik kuchlari (56)
Qovushoqlik koeffitsiyenti (56)
Holat tenglamasi (28)

Ilova

I. Fizik kattaliklarning birliklari

Kattalik	Birlik	
	Nomi	Belgisi
Uzunlik	Metr	m
Massa	Kilogramm	kg
Vaqt	Sekund	s
Tezlik	Metr taqsim sekund	m/ s
Yuza	Metr kvadrat	m^2
Hajm	Metr kub	m^3
Kuch	Nyuton	N
Impuls	Kilogramm metr taqsim sekund	kg· m /s
Bosim	Paskal	Pa
Ish, energiya, issiqlik miqdori	Joul	J
Quvvat	Vatt	Vt
Termodinamik harorat	Kelvin	K
Modda miqdori	Mol	mol
Issiqlik sig`imi	Joul taqsim kelvin	J /K
Solishtirma issiqlik sig`imi	Joul taqsim kilogramm kelvin	J / kg· K
Molyar massa	Kilogramm taqsim mol	kg/ mol
Solishtirma yonish, erish va	Joul taqsim kilogramm	J /kg

bug`lanish issiqligi		

II. Birliklar belgilarining old qo`shimchalari

Mega (M)--- 10^6 Milli (m)--- 10^{-3}
Kilo (k) --- 10^3 Mikro (mk)---10^{-6}
Desi (d)--- 10^{-1} Nano (n)---- 10^{-9}
Santi (s)--- 10^{-2} Piko (p)----10^{-12}

III. Ba`zi bir fizik kattaliklar va doimiylar

1. Bir moldagi molekulalar soni (Avogadro soni)

$$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} \ моль^{-1}$$

2. Normal sharoitdagi gazning molyar hajmi

$$V_0 = 22{,}4 \ \frac{л}{моль}$$

3. Universal gaz doimiysi

$$R = 8{,}314 \ \frac{Ж}{моль \cdot К}$$

4. Havoning o`rtacha molyar massasi

$$m = 28{,}9 \ \frac{г}{моль}$$

5. Bolsman doimiysi

$$K = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{Ж}{К}$$

6. Muzning erish nuqtasi

$$T_0 = 273{,}16 \ К$$

IV. Qattiq jismlar va suyuqliklarning zichliklari (g /sm^3)

Qattiq jismlar			
Alyuminiy	2,70	Marganes	7,40
Vismut	9,80	Mis	8,93
Volfram		Nikel	8,80
Temir (cho`yan, po`lat)	7,87	Platina	21.4
Oltin	19,3	Qo`rg`oshin	11,3
Osh tuzi	2,20	Kumush	10,5
Jez	8,55	Uran	18,7

Suyuqliklar (15^0)	
Suv (4^0S da)	1,00
Glitserin	1,26
Kerosin	0,8
Zaytun moyi	0,9
Simob	13,6
Uglerod sulfide	1,26
Spirt	0,8
Efir	0,7

V. 20^0S da suyuqliklarning qovushoqligi (mPa· s)

Suv-------- 1,00 Kanakunjut moyi--987
Glitserin------1480 Mashina moyi--- 100
Simob------- 1,58

VI. 20^0S da suyuqliklarning sirt tarangligi (mN/ m)

Suv------73 Sovunli suv---40
Glitserin--- 62 Simob------500
Spirt-----22

VII. Normal sharoitlarda ba`zi gazlarning issiqlik o`tkazuvchanligi (mVt/ m ·K)

Azot------ 24,3 Havo------24,1
Argon------16,2 Kislorod----24,4
Vodorod-----168 Suv bug`lari-- 15,8

VIII. Qattiq jismlarning issiqlik o`tkazuvchanligi (Vt/ m ·K)

Alyuminiy----210 Qo`rg`oshin----35

Temir------59 Vismut----- 10
Mis-------380 Yog`och------ 0,63

IX. Ba`zi bir suyuqliklarning $20^0$ S dagi solishtirma issiqlik sig`imlari (J /kg ·K)

Suv--------4190 Kerosin-----2140
Glitserin-----2430 Simob------138
Kanakunjut moyi -1800 Spirt------2510

X. Ba`zi bir qattiq jismlarning solishtirma issiqlik sig`imlari (J/ kg· K)

Alyuminiy-----896 Platina-----117
Temir-------500 Qo`rg`oshin----126
Jez--------386 Kumush------234
Muz--------2100 Po`lat-------460
Mis--------395 Rux--------391

XI. Atomlarning va molekulalarning diametri (m)

H_2----2,3 10^{-10} N_20-----2,6 10^{-10}
0_2----2,9 10^{-10} Ne-----1,9 10^{-10}
N_2----3,1 10^{-10} Ar-----2,9 10^{-6}

XII. Kritik parametrlar va Van-der-Vaals tenglamasidagi *a* va *b* parametrlar

Modda	Kritik temperatura T_k, K	Kritik bosim R_k, Mpa	a, $\frac{Н \cdot м^3}{моль^2}$	$в$, $\cdot 10^{-5} \frac{М^{-3}}{моль}$
Suv bug`i	647	22,1	0,545	3,04
Karbonat angidrid	304	7,38	0,361	4,28
Kislorod	155	5,08	0,336	3,17
Argon	151	4,86	0,334	3,22
Neon	44,4	2,72	0,209	1,70
Xlor	417	7,71	0,65	5,62

XIII. Ba`zi neytral atomlarning massalari

Element	Tartib raqamii	Izotopi	Massa (a.m.b)
Vodorod	1	1N	1,00783
Geliy	2	^{4}Ne	4,00260

Litiy	3	^{6}Li	6,00513
Бериллий	4	^{8}Be	8,00531
Бор	5	^{10}B	10,01294
Uglerod	6	^{12}S	12,000
Azot	7	^{14}N	14,00307
Kislorod	8	$^{16}0$	15,99491
Magniy	12	^{23}Mg	22,99412
Natriy	11	^{23}Na	22,98977
Alyuminiy	13	^{30}Al	29,99807
Kaliy	19	^{40}K	40,96084
Kalsiy	20	^{44}Ca	43,95549

XIV. Asosiy belgilashlar

Uzunlik	, l , L	Issiqlik miqdori	Q
Balandlik	h, x	Ichki energiya	*U*
Radius	R, r	Entropiya	S
Yuza	S	Solishtira issiqlik sig`imi	C
Hajm	V	Issiqlik sig`imlari nisbati	*g*
Tezlik	*J*	Sirt taranglik	*s*
Massa	M	Temperatura. Selsiy shkalasida	t
Vaqt	t	Erkinlik darajasi	i
Ish	A	Erkin yugurish yo`li	*l*
Bosim	P	Diffuziya koeffitsiyenti	D
Konsentrasiya	n	Foydali ish koeffitsiyenti	*h*
Zichlik	*r*	Molekulalar soni	N
Impuls	L	Avogadro soni	N_0
Qovushoqlik koeffitsiyenti	*h*	Bolsman doimiysi	K
Molyar massa	*m*	Universal gaz doimiysi	R
Modda miqdori	*n*	Erkin tushish tezlanishi	*g*
Absolyut temperatura			T

A D A B I YO T L A R

1. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Umumiy fizika kursi. Molekulyar fizika. Toshkent, "O`qituvchi", 1978y.
2. Sivuxin D.V. Umumiy fizika kursi. Termodina-mika va molekulyar fizika. Toshkent, "O`qituvchi", 1984y.
3. Matveev A.N. Molekulyarnaya fizika. Moskva, "Vo`sshaya shkola", 1987g.
4. Reyf F. Staticticheskaya fizika. Moskva, "Nau-ka", 1977g.
5. Axmadjonov O. Mexanika va molekulyar fizika. Toshkent, "O`qituvchi" 1981y.

6. Kittel I. Elementarnaya statisticheskaya fizika.
I.L. 1980y.
7. Chertov A., Vorobåv A. Fizikadan masalalar to`plami. Toshkent. "O`zbekiston", 1997 y.
8. Sivuxin D.I. Umumiy fizika kursidan masalalar to`plami. Termodinamika va molekulyar fizika. Toshkent. "O`qituvchi", 1985 y.
9. Saxarov D.I. Fizika masalalari to`plami. Toshkent. "O`qituvchi", 1965 y.
10. Irodov I.E. Задачи по общей физике. Москва, "Наука", 1988 г.

5.Амалий машғулотлар учун:

- масалалар тўплами

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

Р.М. Абдуллаев, А.Г. Даминов, М.А. Карабаева, Х.М. Сатторов

МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКАДАН МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ

Услубий қўлланма

Тошкент – 2010

Услубий қўлланма «Умумий физика» курсининг «Молекуляр физика» бўлими бўйича масалалар тўпламини ўз ичига олган бўлиб, у университетларнинг физика йўналиши бўйича таҳсил олаётган талабалари учун мўлжалланган. Қўлланма мавжуд намунавий ўқув дастурларига амал қилинган ҳолда, турли даврларда чоп этилган ўқув қўлланмалар асосида тузилган.

Ушбу қўлланмадан олий ўқув юртларининг физика фани бўйича таҳсил олаётган барча талабалар фойдаланиши мумкин.

Методическая разработка содержит сборник задач по разделу «Молекулярная физика» курса Общей физики и предназначен для студентов университетов, обучающихся по специальности физика. Она составлена по требованиям существующих образцовых учебных программ, на основе методических разработок, выпушенных в различных периодах.

Настоящей учебной разработкой могут ползоваться все студенты высших учебных заведений, обучающиеся по специальности физика.

The methodical development contains the collection of tasks on section " Molecular physics " of a rate of General physics and is intended for the students of universities training on a speciality physics. She is made under the requirements of the existing exemplary educational programs, on the basis of methodical development issued in the various periods.

The present educational development all students of higher educational institutions training on a speciality physics can use.

Тузувчилар: Р.М. Абдуллаев, А.F. Даминов, М.А. Карабаева, Х.М. Сатторов

Масъул муҳаррир:

Муҳаррир:

Масала ечишда талабага қўйиладиган талаблар.

1. Масала шартини диққат билан, маъносига тушуниб, унда кўтарилган муаммо маъно жиҳатидан қайси физик қонунларга асосланганлигини аниқлаш.

2. Дафтарнинг чап томон қисмига масала шартида берилган ҳамда аниқланиши лозим бўлган физик катталикларни тегишли ҳарфлар билан белгилаб, сон қийматлари ва ўлчов бирликлари билан ёзиш.

3. Барча физик катталикларни бир хил тизимдаги ўлчов бирликлари (масалан, халқаро ўлчов бирликлари тизими — СИ) да келтириш.

4. Масала шартига кўра расм, чизма ёки график чизиш.

5. Берилган масалани ечиш учун керак бўлган барча соддалаштириш ва тахминларни аниқ кўз олдига келтириш. Улар қисман масала шартида келтирилган бўлиши мумкин, қолган қисми эса ечимда албатта изоҳланиши керак.

6. Масалани умумий ҳолда ечиш, яъни изланаётган физик катталикни масала шартида берилган катталиклар орқали ифодаловчи формула шаклидаги жавобни топиш.

7. Формуланинг тўғрилигини текшириб кўриш. Бунинг учун формуланинг ўнг томонига кирган барча катталикларни уларнинг ўлчов бирликлари билан алмаштириб, изланаётган катталик ўлчов бирлиги билан бир хил бўлиш — бўлмаслигини аниқлаш. Ўлчов бирликларининг бирдай эмаслиги масала нотўғри ечилганлигини кўрсатади.

Агар масалага кўрсаткичли функция кирган бўлса, унда кўрсаткичнинг ўлчов бирлигисиз эканлигига, яъни ўлчамсиз катталик эканлигига ишонч ҳосил қилиш.

8. Ишчи формула ва берилган сон қийматлар асосида ҳисоблашга киришиш.

9. Жавобни бирликлари билан ёзиш.

I. Модда миқдори

Жисмнинг (тизимнинг) модда миқдори ν:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} \qquad (1)$$

бу ерда m – модда массаси, μ – модданинг моляр массаси, N_A – Авогадро доимийси; N – жисмни ташкил қилувчи зарралар (молекулалар, атомлар) сони.

Жисмнинг нисбий молекуляр массаси:

$$M_n = \sum_i n_i \cdot A_i ; \qquad (2)$$

бу ерда n_i – модда молекуласининг таркибига кирувчи i – кимёвий элементнинг атомлари сони; A_i – шу элементнинг нисбий атом массаси.

Модданинг моляр массаси μ билан нисбий молекуляр массаси M_n орасидаги боғланиш:

$$m = M_n \cdot 10^{-3} \ \frac{кг}{моль} \qquad (3)$$

Газлар аралашмасининг модда миқдори:

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \nu_{...} + \nu_i + ... + \nu_n \qquad (4)$$

бу ерда ν_i – аралашма i – таркибий қисмининг модда миқдори.

Бир жинсли тизим зарраларининг концентрацияси n:

$$n = \frac{N}{V} , \qquad (5)$$

бу ерда V – тизимнинг ҳажми

Масала ечиш намуналари

1–масала. Цемент олишда ишлатилувчи модда кальций сульфатнинг ($CaSO_4$) моляр массаси, битта молекуласининг массаси, 1кг $CaSO_4$ нинг модда миқдори ва ундаги молекулалар сони топилсин.

Ечилиши. Кимёвий элементлар даврий системасига кўра Ca, S, O элементларининг нисбий молекуляр массалари мос равишда 40, 32 ва 16 га тенг. Шу сабабли $CaSO_4$ молекуласининг нисбий ва моляр массаси:

$$M_н = 40 + 32 + 4 \cdot 16 \ ; \ \mu = 136 \cdot 10^{-3} \ кг/моль ,$$

Битта молекуласининг массаси:

$$m_0 = \frac{m}{N_0} = \frac{136 \cdot 10^{-3} \ кг/моль}{6{,}02 \cdot 10^{23} \ 1/моль} = 22{,}6 \cdot 10^{-26} \ кг$$

Модда миқдори: $\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{1 \ кг}{0{,}136 \ кг/моль} \approx 7{,}4 \ моль$.

7,3 моль модда миқдоридаги барча молекулалар сони:

$$N = \nu N_A = 7{,}4 моль \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль} \approx 4{,}4 \cdot 10^{24} \ та$$

2–масала. Температура ортиб бориши билан молекулаларнинг ўзаро тўқнашувларда атомларга парчаланиш эхтимоллиги ортиб боради. Агар T=600K температурада азот газининг диссоциация даражаси α=0,4 бўлса, унинг m=56 *г* даги барча зарралари сони нимага тенг бўлади?

Ечилиши. Азотнинг фақат молекулалардан ташкил топган ҳолатдаги модда миқдори:

$$\nu = \frac{m}{m} = \frac{56г}{28\,г/моль} = 2моль$$

Азотнинг парчаланиши натижасида ҳосил бўлган ва унинг атомларидан ташкил топган қисмининг модда миқдори $\nu_a = \alpha\nu$ бўлади, унинг молекуляр ҳолатда қолган қисми модда миқдори эса

$$\nu_м = \nu - \nu_a = (1-\alpha)\nu$$

ифодадан топилиши мумкин.

Битта молекула иккита атомга ажралишини эътиборга оладиган бўлсак, барча заррачалар сони қуйидагича ифодаланишини топиш мумкин:

$$N = (1-\alpha)\nu N_0 + 2\alpha\nu N_0 = (1+\alpha)\nu N_0,$$

бунга α, ν ва N_0 ларнинг қийматларини қўйиб N ни ҳисоблаб топамиз:

$$N = (1+0{,}4)2моль \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}\ 1/моль = 1{,}69 \cdot 10^{24} \text{ та}$$

3– масала. m_1 = 25 *г* массали кислород ва m_2 = 75 *г* массали азот аралашмасининг моляр массаси μ_a топилсин.

Ечилиши. Аралашманинг моляр массаси μ_a аралашма массаси m_{ap} нинг аралашмадаги модда миқдори ν_{ap} га нисбатига тенг, яъни

$$\mu_a = \frac{m_{ap}}{\nu_{ap}}$$

Аралашманинг массаси аралашманинг ташкил этувчилари массалари йиғиндисига тенг: $m_{ap} = m_1 + m_2$

Аралашманинг модда миқдори аралашманинг ташкил этувчилари модда миқдорларининг йиғиндисига тенг

$$\nu_{ap} = \frac{m_1}{m_1} + \frac{m_2}{m_2}$$

μ_a ва ν_{ap} ларнинг ифодаларини (1) формулага қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$m_a = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{m_1} + \frac{m_2}{m_2}}$$

1– масалада фойдаланилган усулдан фойдаланиб кислороднинг μ_1 ва азотнинг μ_2 моляр массаларини топамиз:

$\mu_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ *кг/моль*, $\mu_2 = 28 \cdot 10^{-3}$ *кг/моль*.

Катталикларнинг қийматларини (2) га қўямиз ва ҳисоблаймиз

$$\mu_{ар} = \frac{25 \cdot 10^{-3} + 75 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3} / \left(32 \cdot 10^{-3}\right) + 75 \cdot 10^{-3} / \left(28 \cdot 10^{-3}\right)} кг/моль = 28{,}9 \cdot 10^{-3} кг/моль$$

4– масала. 1) t = 4^0C температурада V = 1 *мм*^{3} ҳажмни эгалловчи сув молекулаларининг сони N; 2) сув молекуласининг массаси m_1; 3) молекулалар бир–бирига тегиб турувчи шарчалар шаклига эга, деб ҳисоблаб, сув молекуласининг диаметри d аниқлансин.

Ечилиши. 1). Бирор m массали жисмдаги молекулалар сони N Авогадро доимийси N_A нинг модда миқдори ν га кўпайтмасига тенг: $N = N_A \nu$, $\nu = m/\mu$ эканлигидан (бунда μ – моляр масса), $N=(m/\mu)N_A$ формуладаги массани модда зичлиги ρ ни унинг ҳажми V га кўпайтмаси сифатида ифодалаб, қуйидагини оламиз:

$$N = \frac{\rho V}{\mu} N_A \qquad (1)$$

Сувнинг моляр массасидан ташқари (1) га кирувчи барча катталиклар маълум: $\rho = 1 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}, V = 1 *мм*^{3} = $1 \cdot 10^{-9}$ *м*^{3}, $N_A = 6{,}02 \cdot \cdot 10^{23}$ *моль*$^{-1}$.

Сувнинг кимёвий формуласи (H_2O) ни билган ҳолда, сувнинг моляр массасини топамиз (1–масалага каранг):

$$\mu = M_n k = (2 \cdot 1 + 16) \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} = 18 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}.$$

Катталикларнинг қийматларини (1) га қўямиз ва ҳисоблаш ўтказамиз:

$N=1 \cdot 10^{3 \cdot} 10^{-9} / (18 \cdot 10^{-3}) / 6{,}02 \cdot 10^{23}$ та молекула = $3{,}34 \cdot 10^{19}$ та молекула.

2). Сувнинг битта молекуласининг массасини унинг моляр массасини Авогадро доимийсига бўлиб топамиз: $m_1 = \mu/N_A$. Шу формулага биноан ҳисоблашларни бажарсак,

$$m_1 = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} кг = 2{,}29 \cdot 10^{-26} кг$$

3). Молекулалар бир–бирига жипс бўлиб турибди, деб ҳисоблаймиз. Унда d диаметрли ҳар бир молекулага $V=d^3$ ҳажм (куб ҳажмли катакча) мос келади. Бундан

$$d = \sqrt[3]{V_1}. \qquad (1)$$

V_1 ҳажмни модданинг моляр ҳажми V_m ни бир молдаги молекулалар сонига, яъни N_A — Авогадро доимийсига бўлиб топамиз: $V_1 = V_m / N_A$. Моляр ҳажм моляр массанинг модда зичлигига нисбатига тенг, яъни $V_m=\mu/\rho$. Шунинг учун $V_1 = \mu / (\rho N_o)$ деб ёзишимиз мумкин. V_1 учун ҳосил қилинган ифодани (1) формулага қўйсак,

$$d = \sqrt[3]{\frac{m}{(r N_o)}} \qquad (2)$$

келиб чиқади (2) ифоданинг ўнг томони узунлик бирлигини беришини текширамиз:

$$[d] = \left\{\frac{[m]}{[r][N_o]}\right\}^{1/3} = \left\{\frac{кг/моль}{\left(кг/м^3\right) \cdot \left(1/моль\right)}\right\}^{1/3} = м$$

Энди катталикларнинг қийматларини (2) формулага қўямиз ва ҳисоблаш ўтказамиз:

$$d = 3{,}11 \cdot 10^{-10} м = 311 пм.$$

Масалалар.

1. 1) сувнинг; 2) карбонат ангидрид CO_2 нинг; 3) ош тузи NaC1 нинг нисбий молекуляр массаси M_n аниқлансин.

2. 1) карбонат ангидрид; 2) ош тузи молекулаларининг массаси m_1 аниқлансин.

3. Массаси m = 0,2 *кг* бўлган азотнинг модда миқдори ν ва молекулалари сони N аниқлансин.

4. Сиғими V=3 *л* бўлган идишда массаси m = 4 *г* бўлган кислород бор. Газнинг модда миқдори ν ва молекулалар сони N аниқлансин.

5. Агар зичлиги $\rho = 6{,}65 \cdot 10^{-3}$ *кг/м*^{3} бўлса, сиғими V = 3 *л* бўлган идишни тўлдириб турган водороднинг модда миқдори ν аниқлансин.

6. Сиғими V = 5 *л* бўлган идишда модда миқдори ν = 0,2 *моль* бўлган бир жинсли газ бор. Агар газнинг зичлиги ρ=1,12 *кг/м*^{3} бўлса, у қандай газ эканлиги аниқлансин.

7. m = 10 *г* массали азотнинг учдан бир қисми атомларга парчаланди. Газдаги барча зарраларнинг сони N аниқлансин.

8. Суюқлик молекулаларини бир—бирига тегиб турувчи шарчалар сифатида қараб, углерод сульфид CS_2 молекулалари диаметри катталигининг тартиби баҳолансин. Шу фаразларда симоб атоми диаметри катталигининг тартиби баҳолансин. Суюқликларнинг зичликлари маълум деб ҳисоблансин.

9. Сиғими V=1,12 *л* бўлган идишда нормал шароитда азот бор. Муайян температурагача қиздирилган газ молекулаларининг бир қисми атомларга ажралди (диссоциацияланди). Диссоциаланиш даражаси α = 0,3. 1) азотнинг қизигунгача бўлган; 2) қизигандан кейинги молекуляр азотнинг: 3) қизигандан кейинги атомар азотнинг; 4) қизигандан кейин бутун азотнинг модда миқдори аниқлансин.

10. 100 *моль* симоб қанча ҳажмни эгаллайди?

11. Сирти 20 *см*^{2} бўлган буюмга 1 *мкм* қалинликда кумуш қатлами қопланди. Қопламда қанча кумуш атоми бор ?

12. Авогадро сони N_A, модданинг зичлиги ρ, унинг моляр массаси μ ни билган ҳолда шу моддaнинг бирлик массасидаги, бирлик ҳажмидаги, массаси m бўлган жисмдаги, ҳажми V бўлган жи—смдаги молекулалар сонини ҳисоблаш формулаларини келтириб чиқаринг.

13. Водород молекуласининг диаметри $2{,}3 \cdot 10^{-10}$ *м* ни ташкил қилади деб, 1 *мг* шу газдаги барча молекулалар бир—бирига зич қилиб бир қаторга жойлаштирилса, қандай узунликдаги ип ҳосил бўлишини ҳисобланг. Бу ип узунлигини Ердан Ойгача бўлган ўртача масофа ($3{,}8 \cdot 10^8$ *км*) билан солиштириб кўринг.

14. Ўртача чуқурлиги 10 *м* ва сиртининг юзи 20 *км*^{2} бўлган кўлга 0,01 *г* массали ош тузи кристали ташланди. Кўлдан олинган ҳажми 2 *см*^{3} бўлган сувда ҳанча туз молекуласи бўлади ? Бунда туз эриб бутун сув ҳажмида текис тақсимланган деб тасаввур қилиш лозим.

15. Водород ва гелий атомининг массаси топилсин.

16. 1 *г* сув буғида қанча молекула бўлади?

17. 4 *л* сиғимли идишда 1 *г* водород бор. Бу идишнинг ҳар 1 *см*^{3} ҳажмида қанча молекула бўлади?

18. Шиша идишда яхши вакуум олиш учун адсорбцияланган газни чиқаришда идиш деворларини қиздириш зарурдир. Агар адсорбцияланган газ

молекулалари идиш деворидан идиш ичига ўтса, у ҳолда r = 10 *см* радиусли сферик идишдаги босимнинг қанчага ортиши ҳисоблансин. Адсорбция қатламини мономолекуляр қатлам деб, молекуланинг кўндаланг кесим юзи эса 10^{-15} *см*^{2} деб олинсин. Температура t = 300^0 С.

19. Агар йоднинг диссоциация даражаси 50% бўлса, унинг 1 *г* буғида қанча заррача бўлади? Йод J_2 нинг бир киломоли массаси 254 *кг/кмоль* га тенг.

20. Ярмиси диссоциацияланган 16 *г* кислородда қанча заррача бўлади?

21. Сиғими V=12 *л* бўлган идишда молекулаларининг сони N=$1{,}44\cdot10^{18}$ та бўлган газ бор. Газ молекулаларининг концентрацияси n аниқлансин.

22. Молекулаларининг концентрацияси n=$1{,}25\cdot10^{26}$ *м*$^{-3}$, уларнинг умумий сони N = $2{,}5\cdot10^{23}$ бўлган газ сақланаётган идишнинг сиғими V аниқлансин.

23. V=20 *л* сиғимли идишда модда миқдори ν=1,5 *кмоль* бўлган газ бор. Идишдаги молекулаларнинг концентрацияси n аниқлансин.

24. Сиғими V = 5 *л* бўлган идишда молекулаларининг концентрацияси n= $9{,}41\cdot10^{23}$ *м*$^{-3}$ бўлган кислород бор. Газ массаси m аниқлансин.

25. Сиғими V=5 *л* бўлган баллонда m=17,5 *г* массали азот бор. Баллондаги азот молекулаларининг концентрацияси аниқлансин.

26. Массаси m = 58,5 *г* бўлган газ V = 5 *л* сиғимли идишда сақланмоқда. Газ молекулаларининг концентрацияси n = $2{,}2\cdot10^{26}$ *м*$^{-3}$. Бу қандай газ?

27. Сиғими V = 2 *л* бўлган баллонда m = 1,17 *г* массали кислород бор. Идишдаги молекулаларнинг концентрацияси n= $1{,}1\cdot10^{25}$ *м*$^{-3}$. Шу берилганлар бўйича Авогадро доимийси N_A аниқлансин.

28. Стакандаги ҳамма сув молекулалари бирор тарзда "белгилаб" қўйилган, деб фараз қилайлик. Шундан сўнг стакандаги сув яна Ер ости сувига бориб қуйиладиган канализацияга тўкиб юборилди. Етарлича вақт ўтгандан сўнг бу сув Ердаги ҳамма сув билан текис аралашиб кетади. Агар стаканга яна водопроводдан сув тўлдириб олинса, стаканда қанча "белгиланган" сув молекулалари бўлади?

II. Молекуляр–кинетик назариянинг асосий тенгламаси. Молекулаларнинг иссиқлик ҳаракат энергияси ва тезликлари.

Газлар кинетик назариясининг асосий тенгламаси:

$$p = \frac{1}{3} n \cdot .m_0 \cdot \overline{\upsilon^2}, \qquad (1)$$

бу ерда n – концентрация, p – газнинг босими, m_0 – молекуланинг массаси: $m_0 = \mu / N_0$, $\sqrt{\overline{u^2}}$ – молекуланинг ўртача квадратик тезлиги.

Молекула илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси:

$$\overline{e_i} = \frac{m\overline{\upsilon^2}}{2} = \frac{3}{2} kT, \qquad (2)$$

бу ерда k – Больцман доимийси, T – абсолют температура.

Газ босимининг молекулалар концентрацияси ва температурага боғлиқлиги:

$$P = n \cdot k \cdot T \qquad (3)$$

Газ молекуласининг ўртача квадратик тезлиги;

$$\overline{\upsilon_к} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (4)$$

Масала ечиш намуналари.

1– масала. Ҳажми V=2,5 *л* бўлган идишда кислород қамалган бўлиб, унинг молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 500 *м/с* га тенг. Агар идишдаги барча молекулалар сони $N=3 \cdot 10^{22}$ та бўлса, кислороднинг босими нимага тенг?

Ечилиши: Газларнинг кинетик назариясига асосан газнинг босими:

$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{\upsilon^2} = \frac{1}{3} \frac{N}{V} \frac{m \cdot \overline{\upsilon^2}}{N_o}$ (1), бу ерда $m = 32 \cdot 10^{-3}$ *кг/моль*, $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ *моль*$^{-1}$.

Берилганларни (1) – формулага қўйиб газ босими P ни ҳисоблаб топамиз:

$$p = \frac{1 \cdot 3 \cdot 10^{22} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \ (500 \text{ м/с})^2}{3 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \ 1/\text{моль}} = 5{,}3 \cdot 10^4 \ Pa$$

2– масала. Сиғими V = 0,5 *л* бўлган колбада нормал шароитда кислород бор. Колбадаги ҳамма молекулаларнинг илгариланма ҳаракат ўртача энергияси W_n аниқлансин.

Ечилиши: Ҳамма молекулаларнинг илгариланма ҳаракат ўртача энергияси

$$W_n = \overline{e_i} N \qquad (1)$$

муносабат ёрдамида ифодаланиши мумкин. Бунда $\overline{e_i}$ битта молекуланинг илгариланма ҳаракат ўртача энергияси; N — колбадаги барча молекулалар сони.

Маълумки,

$$\overline{e_i} = \frac{3}{2} kT \qquad (2)$$

бунда k — Больцман доимийсн; T – термодинамик температура. Колбадаги молекулалар сонини

$$N = \nu N_A \qquad (3)$$

формуладан топамиз. Бунда ν – кислороднинг модда миқдори; N_A – Авогадро доимийси.

Модда миқдори ν ни қуйидаги мулоҳазалардан топамиз: маълумки, нормал шароитларда моляр ҳажм $V_m = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$ *м³/моль*. Масаланинг шартига биноан колбадаги кислород нормал шароитда бўлганлигидан, колбадаги кислороднинг модда миқдори

$$\nu = \frac{V}{V_m} \qquad (4)$$

муносабат билан ифодаланади.

ν нинг (4) бўйича ифодасини (3) га қўйиб қуйидагини оламиз

$$N = V\frac{N_o}{V_m} \qquad (5)$$

(2) ва (5) ҳисобга олинганда, молекулаларнинг илгарилама ҳаракат энергияси (1)

$$W_n = \frac{3kTVN_o}{2V_m} \qquad (6)$$

кўринишни олади.

Катталикларнинг қийматларини (6) га қўйиб, ҳисоблашни бажарсак,

$$W_n = \frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{2 \cdot 22{,}4 \cdot 10^{-3}} Ж = 75{,}9 Ж$$

3– масала. t = 27°C температурада аммиак битта молекуласи NH_3 нинг ўртача кинетик энергияси ва шу температуранинг ўзида шу молекуланинг айланма ҳаракат ўртача энергияси топилсин.

Ечилиши: Молекуланинг ўртача тўлиқ энергияси

$$\bar{e} = \frac{i}{2}kT \qquad (1)$$

формула бўйича аниқланади. Бунда i - молекуланинг эркинлик даражалари сони; k – Больцман доимийси; T — газнинг термоди–намик температураси: $T = t + T_0$, бунда $T_0 = 273$ K.

Тўрт атомли аммиак молекуласи эркинлик даражаларининг сони i = 6 .

Катталикларнинг қийматларини (1) га қўямиз:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{6}{2} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (27 + 273) Ж = 1{,}242 \cdot 10^{20} Ж$$

Молекуланинг айланма ҳаракат ўртача энергияси

$$\bar{e}_a = \frac{i-3}{2}kT \qquad (2)$$

формула билан аниқланади, бундаги 3 сони илгариланма ҳаракати учун эркинлик даражалари сонини билдиради.

Катталикларнинг қийматларини (2) га қўямиз ва ҳисоблаймиз:

$$\overline{e_a} = \frac{6-3}{2} \; 1{,}38 \cdot 10^{-23}(27 + 273) Ж = 6{,}21 \cdot 10^{-21} Ж$$

Шуни қайд этамизки, аммиак молекуласининг айланма ҳаракат энергиясини бошқача йўл билан – тўлиқ энергия $\bar{e}$ ни иккита тенг қисмларга

бўлиб топиш мумкин эди. Гап шундаки, уч (ва ундан кўп) атомли молекулаларнинг илгариланма ва айланма ҳаракатларига тўғри келувчи эркинлик даражаларининг сони бир хил (3 тадан), шунинг учун илгариланма ва айланма ҳаракат энергиялари бир хил. Мазкур ҳолда

$$\overline{e_{\text{i}}} = \overline{e_{\text{a}}} = \frac{\overline{e}}{2} = \frac{1{,}242 \cdot 10^{-20}}{2} Ж = 6{,}21 \cdot 10^{-21} Ж$$

Масалалар

29. 50^0С температурада тўйинган сув буғининг эластиклиги 92,5 *мм сим. уст.* га тенг бўлса, бу буғнинг зичлиги нимага тенг?

30. 15^0С температура ва 730 *мм сим. уст.* босимидаги водороднинг зичлиги топилсин.

31. Ҳозирги замон лаборатория усуллари билан идишдаги ҳаво сўриб олиниб, у жуда яхши сийраклаштирилган (P = 10^{-11} *мм. сим. уст.*) бўлса, идишдаги ҳавонинг зичлиги нимага тенг? Ҳавонинг температураси 15°С га тенг.

32. T = 300 K температурадаги ва P = 1 *мПа* босим остидаги идеал газ молекулаларининг концентрацияси n аниқлансин.

33. Газ температурасининг икки хил: 1) T=3 K; 2) T=1000 K қийматларида идеал газнинг босими P аниқлансин. Газ молекулаларининг концентрацияси n = 10^{19} $см^{-3}$ деб қабул қилинсин.

34. V=30 *л* сиғимли баллонда T=300 K температура ва P=5 *мПа* босим остида қанча газ молекуласи бўлади?

35. Сиғими V=100 $см^3$ бўлган колбада T=300 K температурада муайян газ сақланмоқда. Агар сирқиб чиқиш натижасида колбадан 10^{20} та молекула чиқса, колбадаги газ босими қанчага пасаяди?

36. Газнинг босими P=1 *мПа*, молекулаларининг концентрацияси n = 10^{10} $см^{-3}$. 1) Газнинг температураси T; 2) газ молекулаларининг илгарилама ҳаракат ўртача кинетик энергияси аниқлансин.

37. T=600 K температурадаги сув буғлари молекулаларининг илгариланма ҳаракати ўртача кинетик энергияси ва тўла кинетик энергиясининг ўртача қиймати аниқлансин. Шунингдек 1 *кмоль* модда миқдоридаги барча буғ молекулаларининг илгариланма ҳаракат кинетик энергияси топилсин.

38. T = 400 K температурада гелийнинг, кислороднинг ҳамда сув буғининг битта молекуласи тўла кинетик энергиясининг ўртача қиймати аниқлансин.

39. Шиша идишда юқори вакуум ҳосил қилиш учун ютилган газларни чиқариб ташлаш мақсадида ҳавони сўриб олишда идишни қиздириш керак. Агар барча ютилган газлар девордан идишга ўтса, радиуси R=10 *см* бўлган сферик идишдаги босим қанчага кўтарилиши аниқлансин. Девордаги молекулалар қатлами мономолекуляр, битта молекуланинг кесими эса $\sigma = 10^{-15}$ $см^2$ деб ҳисоблансин. Газни сўриб олиш амалга оширилаётган пайтдаги температура T=600 K.

40. Агар водороднинг диссоциацияланиш моляр энергияси V_m = 419 *кЖ/моль* бўлса, водороднинг қандай T температурасида молекуласининг илгариланма ҳаракат ўртача кинетик энергияси уларни атомларга ажратишга етарли бўлиши аниқлансин.

Изоҳ. Диссоциацияланиш моляр энергияси деб модда миқдори ν=1 *моль* бўлган газнинг барча молекулаларини диссоциациялаш учун сарфланадиган энергияга айтилади.

41. Агар азот молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 500 *м/с*, унинг зичлиги эса 1,35 *кг/м*^{3} бўлса, азотнинг босими қандай бўлади?

42. Газ 6 *кг* массага эга. У 200 *кПа* босимда 5 *м*^{3} ҳажмни эгалласа, шу газ молекулалари ҳаракатининг ўртача квадратик тезлиги қандай бўлади?

43. Агар кислороднинг босими 0,2 *МПа*, молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги 700 *м/с* га тенг бўлса, унинг молекулалари концентрациясини топинг.

44. 20 *кПа* босимда бир атомли газ молекуласининг ўртача кинетик энергиясини топинг. Кўрсатилган босимда бу газ молекулаларининг концентрацияси $3\cdot10^{25}$ *м*$^{-3}$.

45. 150 *кПа* босимда ва 27°С температурада 2 *м*^{3} газда қанча молекула бор?

46. 27°С температурада водород молекуласининг ўртача квадратик тезлигини ва илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясини топинг.

47. Ҳавони бир жинсли газ деб ҳисоблаб, ҳавода муаллақ турган $1{,}74\cdot10^{-12}$ *кг* массали чанг заррасининг ўртача квадратик тезлиги молекулалар ҳаракатининг ўртача квадратик тезлигидан неча марта кичик эканлигини топинг.

48. Агар Штерн тажрибасида асбобнинг айланиш частотаси 150 *с*$^{-1}$ бўлганда кумуш молекуласининг бурчак силжиши $5{,}4^0$ ни ташкил этса, бунда кумуш буғининг молекуласи қандай тезликка эга бўлган? Ички ва ташқи цилиндрлар орасидаги масофа 2 *см* га тенг.

49. 600 *м/с* тезлик билан учиб келаётган азотнинг молекуласи идиш деворига нормал равишда урилиб, ундан тезлигини йўқотмасдан эластик қайтади. Урилиш вақтида идиш деворининг олган куч импульси топилсин.

50. 500 *м/с* тезлик билан учиб келаётган аргон молекуласи идиш деворига эластик урилади. Молекула тезлигининг йўналиши билан идиш деворига ўтказилган нормал орасидаги бурчак 60^0 ни ташкил қилади. Урилиш вақтида идиш деворининг олган куч импульси топилсин.

51. 430 *м/с* тезлик билан учиб кетаётган азот молекуласининг ҳаракат миқдори топилсин.

52. Ҳавони бир киломолининг массаси μ = 29 *кг/кмоль* га тенг бўлган бир жинсли газ деб ҳисоблаб, 17^0С температурада ҳаво молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги топилсин.

53. Бир хил температурадаги гелий ва азот молекулалари ўртача квадратик тезликларининг нисбати топилсин.

54. Атом бомбаси портлаш пайтида температура тахминан 10^6 ^{0}С градусгача кўтарилади. Бундай температурада ҳамма молекулаларни атомларга диссоциацияланган, атомларни эса ионлашган, деб ҳисоблаб, водород ионининг ўртача квадратик тезлиги топилсин.

55. Агар 200 *мм сим. уст.* босимда водород молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 2400 *м/с* га тенг бўлса, бу шароитда 1 *см*^{3} ҳажмдаги водород молекулаларининг сони топилсин.

56. Бирор газнинг зичлиги $6\cdot10^{-2}$ *кг/м*^{3} га, молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги эса 500 *м/с* га тенг. Газнинг идиш деворига таъсир қилган босими топилсин.

57. Ҳаводаги муаллақ чанг ўртача квадратик тезлиги ҳаво молекуласининг ўртача квадратик тезлигидан неча марта кам? Чангнинг массаси 10^{-8} *г*. Ҳавони бир киломолининг массаси 29 *кг/кмоль* га тенг бўлган бир жинсли газ деб ҳисоблансин.

58. 20°С температурада водород молекуласининг ҳаракат миқдори топилсин. Молекуланинг тезлигини ўртача квадратик тезликка тенг деб ҳисоблансин.

59. 2 л ҳажмли идишда 680 *мм сим. уст.* босимли 10 *г* кислород бор: 1) газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги, 2) идишдаги молекулаларнинг сони, 3) газнинг зичлиги топилсин.

60. Бирор газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги 450 *м/с* га тенг. Газнинг босими $5\cdot10^4$ *Н/м*^{2} га тенг. Бу шароитда газнинг зичлиги топилсин.

61. 1) 750 *мм сим. уст.* босимда зичлиги $8{,}2\cdot10^{-5}$ *г/см*^{3} га тенг бўлган газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги топилсин. 2) агар зичликнинг бу қиймати 17^0С температура учун берилган бўлса, бу газнииг бир киломоли массаси нимага тенг?

62. Нормал шароитда бирор газнинг ўртача квадратик тезлиги 461 *м/с* га тенг. Бу газнииг 1 *г* даги молекулаларининг сони қанча?

63. 10°С температурада 20 *г* кислороднинг иссиқлик ҳаракат энергияси нимага тенг? Бу энергиянинг қанча қисми молекулаларнинг илгариланма ҳаракатига ва қанча қисми айланма ҳаракатига тўғри келади?

64. Қандай Т температурада гелий атомининг ўртача квадратик тезлиги иккинчи космик тезлик 11,2 *км/с* га тенг бўлади?

65. Қандай Т температурада кислород молекуласи водород молекуласи Т=100 К температурада эга бўладиган ўртача квадратик тезликка эга бўлади?

66. Сиғими V= 4 *л* бўлган колбада m = 0,6 *г* массали маълум бир газ p = 200 *кПа* босим остида сақланмокда. Газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги аниқлансин.

67. Идишдаги гелий ва аргон аралашмасининг температураси 1200 К. Гелий ва аргон атомларининг ўртача квадратик тезлиги ҳамда ўртача кинетик энергияси аниқлансин.

68. Ҳавода муаллақ сузиб юрувчи майда чанг зарралари гўёки жуда катта молекулалар каби ҳаракатланади. Агар ҳавонинг температураси Т = 300 К бўлса, $m=10^{-10}$ *г* массали чанг заррачасининг ўртача квадратик тезлиги аниқлансин.

69. Кислород молекуласининг ўртача квадратик тезлиги кислород молекулаларининг орасида бўлган $m=10^{-8}$ *г* массали чанг заррачасининг ўртача квадратик тезлигидан неча марта катта бўлади?

70. Газ молекуласининг ўртача квадратик тезлиги 2 *км/с* бўлса, унинг ўртача арифметик тезлиги аниқлансин.

71. Ҳажми 230 *см*^{3} бўлган идишда 0,01 *мм сим. уст.* босимли 7^0С температурали газ бор. Идишда нечта молекула бор?

72. Босим 2 *ат* ва температура 47°С бўлганда азот билан водород аралашмасининг зичлиги 0,3 *г/л* га тенг. Аралашмадаги водород молекулаларининг концентрацияси қанчага тенг?

73. Қандайдир миқдордаги газни ўз ичига олган идиш υ тезлик билан ҳаракатлантирилади, сўнгра тўсатдан тўхтатилади. Шунда газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги қанчага кўпаяди: а) газ бир атомли бўлганда, б) газ икки атомли бўлганда? Олинган натижанинг физик маъноси қандай?

74. а) 132°С ли кислород, б) 0,1 *К* ли гелий молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги аниқлансин.

75. Қандай температурада карбонат ангидрид молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги 720 *км/соат* бўлади?

76. 17^0C температурали ҳавода муаллақ туриб қолган 10^{-6} *см* радиусли сув томчиларининг ўртача квадратик тезлиги аниқлансин.

77. Чекланган миқдордаги моддaнинг энг йирик молекуласининг массаси m=10^{-18} *г* га тенг. Ҳавода 27^0C температурада тортиб ўлчанган бундай молекула иссиқлик ҳаракатининг тўла ўртача кинетик энергияси К ни топинг. Шунингдек, шу температурали бундай молекуланинг ўртача квадратик тезлигини топинг

78. 27^0C температурали H_2 молекуласининг ўртача квадратик импульсини топинг

79. 100^0C температурали азот молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги қандай температурадаги кислород молекулаларининг ўртача квадратик тезлигига тенг бўлади?

III. Идеал газ қонунлари. Идеал газ ҳолат тенгламаси

Идеал газларнинг ҳолати Менделеев—Клапейрон тенгламасига бўйсунади:

$$PV = \frac{m}{m} RT, \qquad (1)$$

бу ерда P—газнинг босими V—унинг ҳажми, T—абсолют температура, m—газнинг массаси, μ—газнинг моляр массаси. R—универсал газ доимийси.

Дальтон қонуни:

$$P=P_1+P_2+\ldots P_i+\ldots+P_n, \qquad (2)$$

бу ерда P—газ аралашмасининг босими; P_i—аралашма *i* таркибий қисмининг парциал босими; n—аралашма таркибий қисмлари сони.

Масала ечиш намуналари

1— масала. Ҳажми V_1=40 *л* бўлган баллонда P_1=15 *МПа* босимда сиқилган t_1 =27 ^{0}C температурали ҳаво бор. Шу баллондаги сув ости кемаси цистернасидан қанча V ҳажмли сувни сиқиб чиқариш мумкин? Кема h=20 *м* чуқурликда турибди, бу ерда температура t_2 =7^{0}C га тенг. Сувнинг зичлиги ρ=1·10^3 *кг/м^3* га, атмосфера босими эса P_0=100 *кПа* га тенг.

Ечилиши. Цистернадаги сувни сиқиб чиқариш учун ҳавонинг босими камида шу чуқурликдаги сувнинг босимига тенг бўлиши керак. $P_2=P_0+\rho gh$. Кенгайгандан кейин ҳаво $V_2=V+V_1$ ҳажмни эгаллайди. Бирлашган газ қонунига кўра

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \text{ ёки } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{(P_0 + \rho gh)(V + V_1)}{T_2}.$$

Бундан сув чиқариши мумкин бўлган V ҳажмни топамиз.

$$V = V_1\left[\frac{P_1T_2}{(P_0 + rgh)T_1} - V_1\right]$$

Масалада берилган сон қийматларни ўрнига қўйиб ҳисобланса, қуйидаги келиб чиқади:

$$V = 4\cdot10^{-2}\,м^3 \cdot \frac{15\cdot10^6\,Pa\cdot280K}{(1\cdot10^5\,Pa + 1\cdot10^3\,\frac{кг}{м^3}\cdot9{,}8\frac{м}{с^2}\cdot20м)\cdot300K} - 4\cdot10^{-2}\,м^3 = 1{,}85м^3.$$

Жавоби: V=1,85 *м^3*

2—масала. Юзи S=100 *см^2* бўлган оғир поршенли вертикал цилиндр m=10 *г* массали кислород билан тўлдирилган. Температура ΔT=50 K га ортганда поршень h=7 *см* баландликка кўтарилган. Агар поршень устидаги босим P_0=1·10^5 Па га тенг бўлса, поршеннинг оғирлиги F топилсин.

Ечилиши. Газнинг ҳолат тенгламаси цилиндр қиздирилгунча $P_0V = \frac{m}{\mu}RT$,

қиздирилгандан кейин эса $P(V + Sh) = \frac{m}{m}R(T + DT)$ кўринишда бўлади, бунда

P_0, V ва T—газнинг қиздирилгунга қадар босими, ҳажми ва температураси, S—поршеннинг юзи, h—поршеннинг кўтарилган баландлиги. Иккинчи тенгламани биринчи тенгламадан айириб ва $P = P_0 + \frac{F}{S}$ эканлигини назарда тутган ҳолда топилиши керак бўлган F оғирликни топамиз: $F = \frac{mR\Delta T}{\mu h} - P_0 S$

Масала шартида берилганларнинг сон қийматларини ўрнига қўйиб ҳисоблаб қуйидагини топамиз:

$$F = \frac{1 \cdot 10^{-2}\,кг \cdot 8{,}31\,Ж/кмольК \cdot 50К}{32\,кг/моль \cdot 7 \cdot 10^{-2}\,м}\;10^5\,Па \cdot 10^{-2}\,м^2 = 850Н$$

3— масала. V=10 *л* ҳажмли баллонда P=1 *МПа* босим остида T_1 = 300 K температурали гелий бор. Баллондаги m = 10 *г* гелий сарфлангандан кейин баллондаги температура T_2 = 290 K гача пасайди. Баллонда қолган гелийнинг босими P_2 аниқлансин.

Ечилиши. Масалани ечиш учун икки марта газнинг бошланғич ва охирги ҳолатлари учун Менделеев—Клапейрон формуласидан фойдаланамиз. Бошланғич ҳолат учун тенглама

$$P_1 V = \frac{m_1}{m} RT_1 \qquad (1)$$

кўринншга эга, охирги ҳолат учун эса

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT_2 \qquad (2)$$

бунда m_1 ва m_2 бошланғич ва охирги ҳолатлардаги гелий массаси, (1) ва (2) тенгламалардаги m_1 ва m_2 массаларни қуйидагича ифодалаймиз:

$$m_1 = \mu p_1 V/(RT_1); \qquad (3)$$

$$m_2 = \mu p_2 V/(RT_2). \qquad (4)$$

(3) дан (4) тенгликни айирсак,

$$m = m_1 - m_2 = \frac{mp_1V}{RT_1} - \frac{mp_2V}{RT_2}$$

Бундан қидирилаётган босимни топамиз:

$$P_2 = \frac{T_2}{T_1}P_1 - \frac{m}{m}\frac{RT_2}{V} \qquad (5)$$

(5) тенгликнинг ўнг томони босим бирлигини беришини текширамиз. Бунинг учун унга кирувчи барча катталикларни мос бирликларда ифодалаймиз. Биринчи қўшилувчи ифодаланадиган бирлик шубҳа туғдирмайди, чунки T_2/T_1 нисбат ўлчамсиз катталикдир. Иккинчи қўшилувчи қандай бирликларда ифодаланишини текширайлик

$$\frac{[m][R][T_2]}{[\mu][V]} = \frac{кг}{кг/моль}\,\frac{[Ж/(К\;моль)]\;К}{м^3} =$$

$$= \frac{кг}{кг}\,\frac{Ж}{м^3}\,\frac{К}{К}\,\frac{моль}{моль} = \frac{Ж}{м^3} = \frac{Н}{м^2}\,\frac{м}{м} = \frac{Н}{м^2} = Па$$

Олинган ҳисоблаш формуласининг ўнг томони изланаётган катталик — босимнинг бирлигини беришига ишонч ҳосил қилгандан кейин, (5) га барча

катталикларнинг қийматларини қўйишимиз ва ҳисоблаш ўтказишимиз мумкин.

(5) формуладаги гелийнинг моляр массаси m дан бошқа барча катталиклар маълум. Уни топамиз ($m = M_n k$).Гелий бир атомли газ бўлганлиги туфайли унинг нисбий молекуляр массаси нисбий атом массаси A_n га тенг. Д.И. Менделеев жадвалидан $A_n = 4$ ни топамиз. Шундай қилиб, гелийнинг моляр массаси:

$$m = A_г \cdot 10^{-3}\ кг/моль = 4 \cdot 10^{-3}\ кг/моль.$$

Катталикларнинг қийматларини (5) га қўйиб, натижани оламиз:

$$P_2 = \frac{290}{300} \cdot 10^6 \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8{,}31 \cdot 290}{10 \cdot 10^{-3}}\ Па = 3{,}64 \cdot 10^5\ Па = 364\ \ кПа$$

Масалалар.

80. Ҳаво 720 *мм. сим. уст.* босимига тенг босим остида турибди. Агар босим 2 техник атмосферага етса-ю, температура ўзгармаса, шу ҳавонинг ҳажми қандай ўзгаради?

81. Газнинг ҳажмини 0^0 С дагига қараганда 2 марта ошириш учун, бу газни ўзгармас босимда неча градус иситиш керак?

82. 30^0 С да V ҳажмни эгаллаган газнинг ҳажми 0,75 V бўлиши учун уни ўзгармас босимда қандай температурагача совутиш керак?

83. Сиғими 20 *л* бўлган баллонда 100 *атм.* босим остида, температураси 16^0 С бўлган кислород бор. Шу кислороднинг ҳажми нормал шароитда қандай бўлади?

84. Ўлчамлари 8м х 5м х 4м бўлган уйдаги ҳавонинг темпера—тураси 10^0 С га, босими эса 78 *см сим. уст.* босимига тенг. Ана шу уйдаги ҳавонинг массаси топилсин.

85. Ҳажми 40 *л* бўлган бомба ичида температураси 15^0 С ли қисилган 8 кг кислород бор. Шу кислороднинг босими топилсин.

86. Уйдаги ҳавонинг ҳажми 100 $м^3$ га тенг. Агар уйнинг температураси 10^0 С дан 25^0 С гача оширилса ва атмосфера босими 77 *см сим. уст.* босимига тенг бўлса, уйдан чиқиб кетган ҳавонинг массаси қанча бўлади?

87. Баллонда 15 *МПа* босим остида 40 *л* сиқилган ҳаво бор. Агар сув ости кемаси 20 *м* чуқурликда турган бўлса, шу баллондаги ҳаво билан кема цистернасидан қанча сувни сиқиб чиқариш мумкин?

88. Узунлиги 60 *см* бўлган икки учи очиқ шиша найчанинг 1/3 узунлигича қисми симобли идишга туширилади. Сўнгра найчанинг юқори учини беркитиб, у симобдан чиқарилади. Найчада қандай узунликдаги симоб устуни қолади? Атмосфера босими 760 *мм сим. уст.*

89. Кислороднинг зичлиги азотнинг нормал шароитдаги зичлигига тенг бўлиши учун кислородни нормал босимда қандай температурагача қиздириш лозим?

90. Ҳажми V = 60 $м^3$ бўлган хонадаги ҳавонинг температураси нормал босимда T_1 = 280 К дан T_2 = 300 К гача кўтарилганда хонадан қанча m масса ҳаво чиқиб кетади?

91. Берк идишдаги газни 140 К гача қиздирганда босим 1,5 марта ортса, идишдаги газ дастлаб қандай температурада бўлган?

92. Газ тўлдирилган бутилканинг оғзи кесимининг юзи 2,5 $см^2$ бўлган тиқин билан беркитилган. Агар тиқинни тутиб турувчи ишқаланиш кучи 12 *Н* бўлса, тиқин бутилкадан отилиб чиқиши учун газни қандай температурагача қиздириш лозим? Бутилкадаги ҳавонинг бошланғич (дастлабки) босими ва

ташқи босим бир хил бўлиб, 100 *кПа* га, бошланғич температура эса 3^0С га тенг бўлган.

93. Оғзи маҳкам беркитилган шишадаги ҳавоиинг 7^0С температурада босими 1 *атм*. Шиша иситилганда ҳаво босими 1,3 *атм* га етганда тиқин отилган. Шиша қандай температурагача иситилганлиги топилсин.

94. 64 *кг* кислород сиғадиган баллон девори 20^0С температурада 1600 $Н/см^2$ босимга чидаса, унинг энг кичик ҳажми қандай бўлади?

95. Баллонда 10^7 $Н/м^2$ босимли 10 *кг* газ бўлган. Баллондаги босим $2{,}5\cdot10^6$ $Н/м^2$ га тенг бўлиши учун балондан қанча миқдор азотни олиш керак? Азотнинг температураси ўзгармас деб ҳисоблансин.

96. Баландлиги 5 *м* ва полининг юзи 200 $м^2$ бўлган аудиториядаги ҳавонинг массаси топилсин. Бинонинг температураси 17^0С, босими 750 *мм сим. уст.* га тенг. (Бир моль ҳавонинг массаси 29 *г/моль* деб олинсин).

97. Бинони тўлдириб турган қишдаги (7^0 С) ҳавонинг оғирлиги ёздаги (37^0С) ҳавонинг оғирлигидан неча марта катта? Босим қишда ва ёзда бир хил деб олинсин.

98. 1) 29^0С ва 2) 180^0С температуралар учун 15,5 *г* кислороднинг изотермалари чизилсин.

99. Газ солинган 10 $м^3$ ҳажмли баллонда 17^0С температура ва 720 *мм сим. уст.* босимда қанча миқдор (киломоль) газ бўлади?

100. 4 *л* ҳажмли ёпиқ идишдаги 20^oС температурали 5 *г* азот 40^0С температурагача иситилган. Газнинг иситилишдан олдинги ва кейинги босими топилсин.

101. Ҳавоси сўриб олинган, икки учи кавшарлаб қўйилгаи горизонтал капиллярнинг ўртасида l = 20 *см* узунлигидаги симоб устуни бор. Агар капиллярни вертикал қилиб қўйилса, симоб устуни Δl = 10 *см* силжийди. Капиллярдаги ҳаво қанча босимгача сўриб олинган? Капиллярнинг узунлиги L = 1 *м*.

102. Баллонда температураси 27^0С га, босими эса 40 *атм*. босимга тенг бўлган қисилган газ бор. Агар баллондаги газ массасининг ярмини чиқариб юборилгандан кейин, температура 12^0С га тушиб қолса, баллондаги босим нимага тенг бўлиб қолади?

103. Аэростатнинг ҳажми 300 $м^3$ га тенг. Унга 20^0С да ва 750 *мм сим. уст.* босимига тенг босимда водород тўлдирилмоқда. Агар баллондан аэростатга ҳар секундда 2,5 *г* водород ўтиб турса, аэростатни водород билан тўлдириш қанча вақт давом этади?

104. Резина шарда температураси 20^0С бўлган ва 780 *мм сим. уст.* босимга тенг босим остида турган 2 *л* ҳаво бор. Агар шу шар сувда 10 *м* чуқурликкача ботирилса, шардаги ҳаво қандай ҳажмни эгаллайди? Сувнинг температураси 4^0С га тенг деб олинсин.

105. Ўлчамлари 12*м* х 5*м* х 4*м* бўлган синфдаги хавода температура 15^0 С га, босим 750 *мм сим. уст.* босимига тенг бўлганда нечта молекула бўлади? Агар ҳар секундда шу молекулалардан 1 миллиарди ташқарига чиқиб турса, ҳамма молекулаларни батамом чиқариб юбориш учун қанча вақт керак?

106. Сиқилган газли баллонга ўрнатилган манометр 18^0С температурада 840 $Н/см^2$ босимни кўрсатади. Агар температура -23^0С гача пасайса, манометр қанча босимни кўрсатади? Совиш туфайли баллон сиғимининг ўзгариши назарга олинмасин.

107. 745 *мм сим. уст.* босимли ва 20^0С температурали газнинг ҳажми 164 $см^3$. Ўша массали газнинг нормал шароитдаги ҳажми қанча бўлади?

108. Компрессор ҳар бир дам берганда атмосфера босимидаги ва -3^0С температурали 4 *л* ҳавони ўзига олиб, уни 1,5 $м^3$ сиғимли резервуарга тиқади, бунда резервуардаги ҳавонинг температураси 45^0С атрофида сақланади. Резервуардаги босимни 20 $Н/см^2$ қадар орттириш учун компрессор неча марта дам бериши керак?

109. Агар -13^0С температурада 10 *л* сиғимли баллонга ўрнатилган манометр 900 $Н/см^2$ босимни кўрсатса, бу баллонга қамалган кислород массаси аниқлансин.

110. Сиқилган водород қамалган 10 *л* сиғимли баллондан, вентиль бузилгани сабабли, газ чиқиб кетади. 7^0С температурада манометр 500 $Н/см^2$ босимни кўрсатади. Бир қанча вақт ўтгач 17^0С температурада ҳам манометр ўша олдинги босимни кўрсатган бўлса, баллондан қанча газ чиқиб кетган?

111. Газ 0,2 *МПа* босимда ва 15^0С температурада 5 *л* ҳажмга эга. Нормал шароитда шундай массали газнинг ҳажми қанча бўлади?

112. Нормал шароитда бўлган 1 $м^3$ табиий газ ёнганда 38 *МЖ* энергия ажралади. 110 *кПа* босим остида ва 7^0С температурада бўлган 10 $м^3$ газ ёнганда қанча энергия ажралади?

113. Газнинг ҳажми 2 марта камайганда босими 120 *кПа* га ортди, абсолют температура эса 10% кўтарилди. Дастлабки босим қандай бўлган?

114. Агар 200 *кПа* босимда ва 240 К температурада газнинг ҳажми 40 л га тенг бўлса, шу газда қанча миқдор модда бор?

115. Ҳозирги замон техникаси 0,1 *нПа* гача вакуум ҳосил қилишга имкон беради. Шундай шароитдаги 1 $см^3$ ҳажмда 300 К да газнинг қанча молекуласи қолади?

116. Баллонда 15^0С температурали газ бор. Агар газнинг 40% и баллондан чиқса ва бунда температура 8^0С га камайса, газнинг босими неча марта камаяди?

117. Менделеев жадвалидан фойдаланиб ацетилен (C_2H_2) нинг нормал шароитдаги зичлигини топинг.

118. Кислород (O_2) нинг зичлигини билган ҳолда метан (CH_4) нинг нормал шароитдаги зичлигини топинг.

119. Юпқа қоғоздан қилинган ҳажми V = 0,1 $м^3$ бўлган шар температураси T_2 = 340 К бўлган иссиқ ҳаво билан тўлдирилади. Атрофдаги ҳавонинг температураси T_1 = 290 К. Шар ичидаги ҳавонинг босими ва атмосфера босими бир хил бўлиб, у 100 *кПа* га тенг. Қоғоз қобиқнинг массасининг қиймати қанча бўлганда шар кўтарилади?

120. а) Ҳажми ҳар хил бўлган идишларда изохорик қиздирилаётган икки бир хил массали идеал газ учун; б) ҳажми бир хил бўлган идишларда изохорик қиздирилаётган ҳар хил массали идеал газлар учун босимнинг мутлоқ температурага боғлиқлик графиклари бир—биридан нима билан фарқ қилади?

121. Узунлиги L=1,6 *м* бўлган, нормал атмосфера босими P_0 да ҳаво билан тўлдирилган цилиндр ичига юзаси S = 200 $см^2$ бўлган поршенни секин кирита бошладилар. Агар поршен цилиндр тубидан *l*=10 *см* масофада тўхтатилса, унта таъсир этувчи куч аниқлансин.

122. U симон манометрга симоб қуйилган. Манометрнинг очиқ тирсаги P_o нормал атмосфера босимидаги атроф муҳит билан туташтирилган ва очиқ тирсакдаги симоб сатҳи ёпиқ тирсакдагисидан h=10 *см* юқорида турибди. Бунда ёпиқ тирсакнинг симобсиз қисмининг узунлиги *l* = 20 *см*. Очиқ тирсакни ҳаволи баллонга туташтирилганларида симоб сатҳларининг фарқи ортди ва Δh_1 =26 *см* қийматга етишди. Баллондаги ҳаво босими P топилсин.

123. Идеал газ ўзгармас босим остида $\Delta T=1K$ га қиздирилганда унинг ҳажми дастлабки ҳажмининг 1/350 қисмига ортди. Газнинг бошланғич температураси T топилсин.

124. V=12 *л* сиғимли баллонда карбонат ангидрид гази бор. Газнинг босими P =1 *МПа* да температураси T=300 K. Баллондаги газ массаси аниқлансин.

125. V= 2 $м^3$ сиғимли қозонда T=500 K температурали m=10 *кг* массали ўта қиздирилган сув буғлари бор. Қозондаги буғнинг босими P аниқлансин.

126. T=300 K температурада ҳаводаги тўйинган сув буғларининг зичлиги аниқлансин. Шу температурада ҳаводаги тўйинган сув буғининг босими P=3,55 *кПа*.

127. Сиғими V = 25 *л* бўлган баллонда T=290 K температурали водород бор. Водороднинг бир қисмини сарфлаганларидан кейин баллондаги босим Δp=0,4 *МПа* га пасайди. Сарфланган водороднинг массаси m аниқлансин.

128. Сиғимлари V_1=20 *л* ва V_2 =44 *л* бўлган баллонларда газ сақланмоқда. Биринчи баллондаги босим P_1 =2,4 *МПа*, иккинчисидаги эса P_2 =1,6 *МПа*. Агар газнинг температураси олдингидек қолса, баллонлар улангандан кейин умумий босим P қандай бўлади?

129. Водород ва кислородларнинг масса улушлари w_1 ва w_2 мос равишда 1/9 ва 8/9 га тенг бўлган аралашмасининг зичлиги топилсин. Аралашманинг босими P=100 *кПа*, температураси T=300 K.

130. Қуруқ ҳаво асосан кислород ва азотдан иборат. Агар хавонинг бошқа таркибий қисмлари инобатга олинмаса, унда кислороднинг ва азотнинг масса улушларини мос равишда w_1 = 0,232 ва w_2=0,768 деб ҳисоблаш мумкин. Ҳавонинг моляр массаси μ аниқлансин.

131. V=15 *л* сиғимли идишда T=23^0 C температурада ва P=200 *кПа* босимда азот ва водород аралашмаси бор. Агар азотнинг аралашмадаги масса улуши w = 0,7 бўлса, аралашманинг ва уни ташкил этувчиларининг массалари аниқ— лансин.

132. Сиғими V = 5 *л* бўлган баллонда P=600 *кПа* босим остида гелий ва водород аралашмаси сақланади. Аралашманинг массаси m=4 *г*, гелийнинг масса улуши w = 0,6. Аралашманинг температураси T аниқлансин.

133. Идишда кислород ва водород аралашмаси бор. Аралашманинг массаси m = 3,6 *г*. Кислороднинг массавий w_1 улуши 0,6 ни ташкил этади. Аралашманинг ν ва ҳар бир газнинг алоҳида ν_1 ҳамда ν_2 модда миқдорлари аниқлансин.

134. 10^0C температура ва $2\cdot10^5$ $Н/м^2$ босимдаги бирор газнинг зичлиги 0,34 $кг/м^3$ га тенг. Бу газ бир киломолининг массаси нимага тенг?

135. 7° C температурали 12 *г* газ $4\cdot10^{-3}$ $м^3$ ҳажмни эгаллайди. Газ ўзгармас босимда иситилганда унинг зичлиги $6\cdot10^{-4}$ $г/см^3$ га тенг бўлиб қолган. Газ қандай температурагача иситилган?

136. 10 *г* кислород 10^0C температура ва 3 *атм* босимда турибди. У ўзгармас босимда қиздирилгандан сўнг кенгайиб, 10 *л* ҳажмнн эгаллайди. Газнинг 1) кенгайгандан олдинги ҳажми, 2) кенгайгандан кейинги температураси, 3) кенгайишдан олдинги зичлиги ва 4) кенгайгандан кейинги зичлиги топилсин.

137. Сиғими 1 $м^3$ бўлган берк идишда 0,9 *кг* сув ва 1,6 *кг* кислород бор. 500^0C температурада сувнинг тўлиқ буғга айланиши маълум бўлса, бу температурада идишдаги босим топилсин.

138. $2\cdot10^{-3}$ *м*^{3} ҳажмли идиш 6 *г* карбонат ангидрид (CO_2) ва 5 *г* азот (I) – оксиди (N_2O) билан тўлдирилган. 127^0C температурада идишдаги умумий босим қандай?

139. Идишда 10^0C температурада ва 10^6 *Н/м*^{2} босимда 14 *г* азот ва 9 *г* водород бор. 1) аралашма бир киломолининг массаси, 2) идишнинг ҳажми топилсин.

140. Нормал шароитда ҳаво тўлдирилган идишга диэтил эфири ($C_2H_5OC_2H_5$) юборилган. Ҳамма эфир буғланиб кетгандан кейин, идишдаги босим 1050 *мм сим. уст.* га тенг бўлиб колган. Идишга қандай миқдорда эфир юборилган? Идишнинг ҳажми V = 2 *л*.

141. 0,5 *л* сиғимли идишда 1 *г* буғсимон йод бор. 1000^0C температурада идишдаги босим 700 *мм. сим. уст.* га тенг бўлган. Шундай шароитда иод молекуласи I_2 нинг йод атомлари I га диссоциацияланиш даражаси топилсин. I_2 нинг бир киломоли массаси 254 *кг/кмоль* га тенг.

142. Идишда карбонат ангидрид гази бор. Бирор температурада карбонат ангидрид газининг кислородга ва карбон оксидига диссоциацияланиш даражаси 25% га тенг. Бу шароитдаги босим карбонат ангидрид гази молекулалари диссоциацияланмагандаги босимидан неча марта катта бўлади?

143. Ҳаво оғирлигининг 23,6% қисми кислороддан ва 76,4% қисми азотдан ташкил топган деб ҳисоблаб, ҳавонинг 750 *мм. сим. уст.* босимда ва 13^0C температурадаги зичлиги топилсин. Бу шароитда кислород ва азотнинг парциал босими топилсин.

144. Идишда 10 *г* карбонат ангидрид ва 15 *г* азотдан иборат газ аралашмаси бор. Бу аралашманинг 27^0C температура ва $1{,}5\cdot10^5$ *Н/м*^{2} босимдаги зичлиги топилсин.

145. Массалари m_1, m_2, m_3, ... ва моляр массалари мос равишда μ_1, μ_2, μ_3, ... бўлган турли идеал газлар аралашмаси берилган. Бундай газ аралашмаси учун ҳолат тенгламасини $PV = \frac{m}{\mu}RT$ кўринишда ёзиш мумкин эканини кўрсатинг, бунда $m = m_1 + m_2 + m_3 + \ldots$ – газлар аралашмасининг тўла массаси, μ – аралашманинг ўртача моляр массаси ролини ўйновчи доимий катталик. Шу μ катталикни аниқланг.

146. Газнинг зичлигини аниқлаш учун тубандагича йўл тутилди. V ҳажмли катта шиша баллонга текширилаётган газ Н *мм сим. уст.* босимгача қамалди ва тарозида тортилди. Унинг массаси М га тенг бўлиб чиқди. Сўнгра ундаги газнинг бир қисми чиқариб юборилди ва унинг босими h *мм сим. уст.* босимга тушди. Энди қайта тортилган баллоннинг янги массаси m га тенг бўлди. Газнинг нормал атмосфера босими шароитидаги зичлиги қандай?

147. Газ тўлдирилган чўғланма электр лампа баллони 600 *мм сим. уст.* босимда азот гази билан тўлдирилган. Лампа баллонининг ҳажми 500 *см*^{3} га тенг. Агар шу лампани сувга ботириб туриб унинг сув ичидаги бир учини синдириб тешик очилса, нормал атмосфера босими шароитида лампа баллони ичига қанча миқдор сув киради?

148. Агар поршенли ҳаво насоси поршенининг бир юришида v ҳажм ҳаво сўрилса, V ҳажмли идишда ҳаво босимини P_1, дан P_2 гача тушириш учун поршень неча (n) юриш қилиши керак? Фойдасиз фазони ҳисобга олманг.

149. Барометрик най симоб тўлдирилган чуқур идишга шундай ботирилганки, ундаги симоб сатҳи идишдаги симоб сатҳи билан бир хил. Бу ҳолда най ичидаги ҳаво устунининг узунлиги *l см* га тенг бўлган. Най *l см* юқори кўтарилганда найдаги симоб сатҳи идишдаги симоб сатҳидан қанча Δl сантиметрга кўтарилади? Атмосфера босими Н *см сим. уст.* га тенг.

150. Узунлиги l бўлган цилиндрик пипетка симобга ярмигача ботирилди. Унинг учини бармоқ билан беркитиб, симобдан чиқариб олинди. Бармоқ найдан олинганда унга кирган симобнинг бир қисми оқиб чиқди. Найда қолган симоб устунининг узунлиги қанча? Атмосфера босими Н га тенг.

151. Температура 0^0С ва босим 760 *мм сим. уст.* бўлганда ҳавонинг зичлиги 0,001293 *г/см*^{3} га тенг. Температура $27{,}3^0$С ва босим 750 *мм сим. уст.* бўлганда бир литр ҳавонинг массаси қандай бўлишини аниқланг.

152. Фабрика трубаснинг узунлиги l = 50 *м* бўлиб, ундан t_1 = 60^0С температурали тутун ҳавога сўрилиб чиқади. Трубада сўриш кучини юзага келтирувчи статик босим Р ни аниқланг. Ҳавонинг температураси $t_2 = -10^0$С. Ҳавонинг зичлиги $\rho_0 = 1{,}29 \cdot 10^{-3}$ *г/см*^{3} га тенг.

153. Айланаётган мойли насоснинг сўриб чиқариш тезлиги 150 *см*^{3}*/с* га тенг. Сиғими 5 *л* бўлган колба ичидаги ҳавони нормал атмосфера босимидан $1 \cdot 10^{-2}$ *мм сим. уст.* босимгача сўриб чиқариш учун қанча вақт талаб этилади?

IV. Идеал газларнинг ички энергияси ва иссиқлик сиғимлари

Молекулаларнинг иссиқлик ҳаракат энергияси (газнинг ички энергияси):

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RT, \qquad (1)$$

бундаги i — газ молекулаларининг эркинлик даражалари сони.

Газларнинг C_μ моляр ва с солиштирма иссиқлик сиғимлари ўзаро қуйидагича боғланган:

$$C_\mu = \mu \quad c \qquad (2)$$

Ўзгармас ҳажмдаги газнинг моляр иссиқлик сиғими:

$$C_{mn} = \frac{i}{2}R, \qquad (3)$$

ўзгармас босимдаги моляр иссиқлик сиғими:

$$C_{mr} = \frac{i+2}{2}R. \qquad (4)$$

Булардан кўринадики, моляр иссиқлик сиғими газ молекулалари эркинлик даражалари сони билан аниқланади. Бир атомли газлар учун i = 3 га, икки атомли газлар учун i = 5 га, кўп атомли газлар учун эса i олтига тенг.

Майер тенгламаси:

$$C_{mr} - C_{mn} = R. \qquad (5)$$

Адиабата кўрсаткичи:

$$g = \frac{C_r}{C_n} \quad \text{ёки} \quad g = \frac{i+2}{i} \qquad (6)$$

Масала ечиш намуналари

1− масала. 10^0 С температурада 20 *г* кислороднинг иссиқлик ҳаракат энергияси нимага тенг? Бу энергиянинг қанча қисми молекулаларнинг илгарилама ҳаракатига ва қанча қисми айланма ҳаракатига тўғри келади?

Ечилиши. Газ молекулаларининг иссиқлик ҳаракат энергияси қуйидаги формуладан аниқланади:

$$W = \frac{i}{2}\cdot\frac{m}{m}RT \qquad (1)$$

Икки атомли газ учун i = 5 бўлиб, шунинг i_1 = 3 таси молекулаларнинг илгарилама ҳаракатига ва i_2 = 2 таси эса уларнинг айланма ҳаракатига тўғри келади. Масалада берилганларнинг сон қийматларини (1) га қўйсак: $W = 3{,}7\cdot10^3$ *Ж* бўлиб, $W_i = 2{,}2\cdot10^3$ *Ж* ва $W_a = 1{,}5\cdot10^3$ *Ж* бўлади.

2 − масала. Қалдироқ газ (водород билан кислороднинг порт−ловчи аралашмаси)нинг иссиқлик сиғими шу газ ёнганда ҳосил бўлган сув буғининг иссиқлик сиғимидан неча марта катта? Масала: I) V = const, 2) p = const ҳоллар учун ечилсин.

Ечилиши. $2H_2+O_2 = 2H_2O$ тенгламадан кўринадики, икки атомли газларнинг уч киломолидан реакциядан кейин уч атомли газнинг икки киломоли ҳосил

бўлади. Шунинг учун ёнмасдан илгари $C'_V = 3\frac{5}{2}R$ ва $C'_p = 3\frac{7}{2}R$; ёнгандан кейин эса $C''_V = 2\frac{6}{2}R$ ва $C''_P = 2\frac{8}{2}R$ бўлади. Шунинг учун 1) $\frac{C'_V}{C''_V} = 1{,}25$; 2) $\frac{C'_P}{C''_P} = 1{,}31$.

3–масала. Неон ва водородни идеал газ деб ҳисоблаб, уларнинг ўзгармас ҳажм (C_V) ва босим (C_P) даги солиштирма иссиқлик сиғимлари ҳисоблансин.

Ечилиши. Идеал газларнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари

$$C_V = \frac{i}{2}\frac{R}{\mu}; \qquad (1)$$

$$C_P = \frac{i+2}{2}\frac{R}{\mu} \qquad (2)$$

формулалар билан ифодаланади. Неон (бир атомли газ) учун i_1 =3, μ_1 =$20\cdot10^{-3}$ *кг/моль*. i_1, μ_1 ва R ларнинг қийматларини (1) ва (2) формулаларга қўйиб ҳисобласак; $C_{V_1} = 624$ *Ж/(кг×К)*; $C_{P_1} = 1{,}04$ *кЖ/(кг×К)*.

Водород (икки атомли газ) учун i_2 =5; μ_2 =$2\cdot10^{-3}$ *кг/моль*.
(1) ва (2) формулалар бўйича ҳисоблаш водороднинг солиштирма иссиқлик сиғимлари учун қуйидаги қийматларни беради:
$C_{V_2} = 10{,}4$ *кЖ/(кг×К)*; $C_{P_1} = 14{,}6$ *кЖ/(кг×К)*.

Масалалар.

154. 15^0С температурада ҳавонинг 1 *г* даги молекулалари иссиқлик ҳаракатининг кинетик энергияси топилсин. Ҳавони бир киломолининг массаси 29 *кг/кмоль* га тенг бўлган бир жинсли газ деб ҳисоблансин.

155. 7^0С температурада 1 *кг* даги азот молекулаларининг айланма ҳаракатининг кинетик энергияси нимага тенг?

156. $1{,}5\cdot10^5$ *Н/м*^{2} босимда бўлган 2 *л* ҳажмли идишдаги икки атомли газ молекулалари иссиқлик ҳаракатининг энергияси нимага тенг?

157. 0,02 *м*^{3} ҳажмли баллондаги азот молекулалари илгарилама ҳаракатининг кинетик энергияси $5\cdot10^3$ *Ж* га, ўртача квадратик тезлиги эса 2000 *м/с* га тенг. 1) баллондаги азотнинг миқдори, 2) азот қандай босимда бўлганлиги топилсин.

158. Гелийнинг атомлари Ернииг тортиш кучини енгиб, Ер ат–мосферасини абадий ташлаб кетиши учун гелий атомлари иссиқлик ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси қандай температурада етарлича бўлади? Шунга ўхшаш масала Ой учун ечилсин.

159. P = $8\cdot10^4$ *Н/м*^{2} босимда зичлиги ρ = 4 *кг/м*^{3} бўлган 1 *кг* икки атомли газ бор. Бу шароитда газ молекулалари иссиқлик ҳаракатининг энергияси топилсин.

160. P = 40 *мм сим. уст.* босимда ва t = 27°С температурада V = 10 *см*^{3} ҳажмни эгаллаган икки атомли газ молекулаларининг сони қанча? Бу молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергияси қанча?

161. Ҳажми 70 *м*^{3} бўлган хонадаги температура 280 К эди. Печка ёқилгандан кейин температура 296 К гача кўтарилди. Агар босим доимий бўлиб, 100 *кПа* га тенг бўлса, ҳаво кенгайишида бажарган ишини топинг.

162. 320 *г* кислородни 10 К га изобарик қиздирганда у қанча иш бажаради?

163. 2 *кг* водороднинг температурасини 10 К га кўтаришда унинг ички энергияси ортишини ҳисобланг.

164. Ўзгармас босимда газни қиздиришга кетган иссиқлик миқдори газнинг кенгайишида бажарадиган ишидан неча марта катта? Ўзгармас босимда газнинг солиштирма иссиқлик сиғими C_p , моляр массаси μ.

165. Муайян икки атомли газнинг солиштирма иссиқлик сиғимларининг фарқи $C_p - C_v = 260$ *Ж/ (кг×К).* Газнинг моляр массаси μ ва унинг солиштирма иссиқлик сиғимлари C_v ва C_p лар топилсин.

166. Таркибида 10 *г* кислород ва 20 *г* азот бўлган газ аралашмасининг солиштирма иссиқлик сиғимлари C_v ва C_p қандай бўлади?

167. Агар биринчи ташкил этувчисининг модда миқдори $\nu_1 = 2$ *моль*, иккинчисининг модда миқдори эса $\nu_2 = 4$ *моль* бўлса, кислород ва азот аралашмасининг солиштирма иссиқлик сиғими C_p аниқлансин.

168. Баллонда аргон ва азот бор. Агар аргоннинг w_1 ва азотнинг w_2 массавий улушлари бир хил ва $w = 0{,}5$ бўлса, бу газлар аралашмасининг солиштирма иссиклик сиғими C_v аниқлансин.

169. Газ аралашмаси бир хил шароитларда ва тенг ҳажмларда олинган хлор ҳамда криптон газларидан иборат. Аралашманинг солиштирма иссиқлик сиғими C_p аниқлансин.

170. Агар аралашмадаги газларнинг модда миқдорлари бир хил ва ν га тенг бўлса, ксенон ва кислород аралашмасининг солиштирма иссиқлик сиғими C_v аниқлансин.

171. Таркибида массаси $m_1 = 10$ *г* гелий ва массаси $m_2 = 4$ *г* водород бўлган газ аралашмаси учун адиабата кўрсаткичи γ топилсин.

172. Газ аралашмаси бир хил шароитларда ва бир хил ҳажмларда олинган аргон ва азот газларидан ташкил топган. Бундай аралашманинг адиабата кўрсаткичи γ аниқлансин.

173. Агар аралашмадаги ҳар иккала газнинг массавий улушлари бир хил ва $w = 0{,}5$ бўлса, водород ҳамда неон аралашмасининг адиабата курсаткичи γ топилсин.

174. Агар аралашмадаги газларнинг модда миқдорлари бир хил ва ν га тенг бўлса, кислород ҳамда аргондан иборат газлар аралашмасининг адиабата кўрсаткичи γ топилсин.

175. Ўзгармас босимда кислород учун солиштирма иссиқлик сиғимининг ўзгармас ҳажмдаги солиштирма иссиқлик сиғимига нисбати топилсин.

176. Бирор икки атомли газнинг ўзгармас босимда солиштирма иссиқлик сиғими 3,5 *кал/г×К* га тенг. Бу газ бир киломолининг массаси нимага тенг?

177. Агар бирор икки атомли газнинг нормал шароитда зичлиги 1,43 *кг/м*^{3} бўлса, бу газиинг C_v ва C_p солиштирма иссиқлик сиғимлари нимага тенг?

178. Агар бирор газ бир киломолининг массаси $\mu = 30$ *кг/кмоль* га тенглиги ва унинг учун $C_p / C_v = 1{,}4$ нисбат маълум бўлса, газнинг C_v ва C_p солиштирма иссиқлик сиғими топилсин.

179. Қалдироқ газ (водород билан кислороднинг портловчи аралашмаси) нинг иссиқлик сиғими шу газ ёнганда ҳосил бўлган сув буғининг иссиқлик сиғимидан неча марта катта? Масала: 1) V = const, 2) p = const ҳоллар учун ечилсин.

180. Агар кислороднинг ўзгармас босимда солиштирма иссиқлик сиғими 1050 *Ж/кг×К* га тенг бўлса, унинг диссоциация даражаси нимага тенг?

181. Диссоциация даражаси 50% га тенг бўлса, буғсимон йоднинг C_v ва C_p солиштирма иссиқлик сиғимлари топилсин. Йод I_2 нинг моляр массаси 254 *кг/кмоль* га тенг.

182. Агар азот учун $\frac{C_P}{C_V}$ нисбатнинг 1,47 га тенглиги маълум бўлса, унинг диссоциация даражаси нимага тенглиги топилсин.

183. 3 *кмоль* аргон ва 2 *кмоль* азотдан иборат бўлган газ аралашмасининг ўзгармас босимда солиштирма иссиқлик сиғими топилсин.

184. 8 *г* гелий ва 16 *г* кислороддан иборат бўлган газ аралашмаси учун C_p /C_v нисбат топилсин.

185. Бир киломоль кислород ва бир неча киломоль аргондан иборат бўлган газ аралашмасининг ўзгармас ҳажмда солиштирма иссиқлик сиғими 430 *Ж/кг×К* га тенг. Газ аралашмасида аргондан қанча миқдор бор?

186. 3 *моль* аргон ва 5 *моль* кислород аралашмаси учун $\gamma = C_p / C_v$ нисбат аниқлансин.

187. 800 *Н/см*^{2} босимли 7°С температурали кислород солинган 10 л сиғимли баллонни 15,5°С температурагача иситилган. Бунда газ қанча иссиқлик миқдорини ютади?

188. t_1 = 15°С температурадаги қанчадир миқдорда азот қамалган идиш υ =100 *м/сек* тезлик билан ҳаракатланиб боради. Агар идиш тўсатдан тўхтаб қолса ва идиш деворига бериладиган иссиқлик назарга олинмаса, унда идишдаги газнинг t_2 температураси қанча бўлади?

189. Газ ҳолатидаги водороднинг диссоциацияланиш даражаси α = 0,6. Шундай қисман диссоциацияланган водороднинг солиштирма иссиқлик сиғими топилсин.

190. Диссоциацияланиш даражаси α = 0,4 бўлган қисман диссоциация—ланган газ ҳолатидаги азотнинг адиабата кўрсаткичи аниқлансин.

191. Қисман диссоциацияланган газ ҳолатидаги хлорнинг адиабата кўрсаткичи γ =1,55 бўлса, бундай газнинг диссоциланиш даражаси α аниқлансин.

192. Массаси m=160 *г* бўлган кислородни ΔT=12 К га қиздиришга Q =1,76 *кЖ* иссиқлик миқдори сарфланади. Жараён қандай кечган: ўзгармас ҳажмдами ё ўзгармас босимдами?

193. 10°С температурада 10 *г* кислород $3 \cdot 10^5$ *Н/м*^{2} ўзгармас босимда иситилгандан кейин газ кенгайиб 10 *л* ҳажмни эгаллайди. 1) газнинг олган иссиқлик миқдори, 2) газ молекулаларининг иситилгандан олдинги ва кейинги иссиқлик ҳаракати энергияси топилсин.

194. 2 *л* ҳажмли ёпиқ идишда 10°С температрада 12 *г* азот бор. Иситилгандан кейин идишдаги босим 104 *мм сим. уст.* га тенг бўлган. Иситишда газга қанча иссиқлик миқдори берилган?

195. 10^5 *Н/м*^{2} босимда 2 *л* азот бор. 1) P = const бўлганда, унинг ҳажмини икки баравар орттириш учун, 2) V = const бўлганда, унинг босимини икки марта орттириш учун қанчадан иссиқлик миқдори бериш керак?

196. Ёпиқ идишда 27°С температура ва 10^5 *Н/м*^{2} босимда 14 *г* азот бор. Иситилгандан кейин идишдаги босим 5 марта ортган. 1) газнинг қандай температурагача иситилганлиги, 2) идишнинг ҳажми, 3) газга берилган иссиқлик миқдори топилсин.

197. 40 *г* кислородни 16^0С дан 40^0С гача иситиш учун 150 *кал* иссиқлик сарф бўлган. Газ қандай шароитда иситилган? (ўзгармас ҳажмдами ёки ўзгармас босимдами?)

198. Ёпиқ идишда 10^5 *Н/м*^{2} босимда 10 *л* ҳаво бор. Идишдаги босимни 5 марта орттириш учун ҳавога қанча иссиқлик бериш керак?

199. V = 2 *л* ҳажмли ёпиқ идишда зичлиги p = 1,4 *кг/м*^{2} га тенг азот бор. Шу шароитда азотни $\Delta t = 100^0$ га иситиш учун унга қанча Q иссиқлик миқдори бериш керак?

200. 3 *л* ҳажмли ёпиқ идишда 3 *атм* босимда 27^0С температурали азот бор. Иситилгандан кейин идишдаги босим 25 *атм*. гача кўтарилган. 1) иситилгандан кейинги азотнинг температураси, 2) азотга берилган иссиқлик миқдори топилсин.

201. Бирор миқдордаги газни ўзгармас босимда 50^0 га иситиш учун 160 *кал* иссилик миқдори сарф қилиш керак. Агар шу миқдордаги газни ўзгармас ҳажмда 100^0 га совитилса, 240 *кал* иссилик миқдори ажралади. Бу газ молекулалари қандай сонли эркинлик даражасига эга бўлган?

202. Ёпиқ идишда 7^0С температурали 10 *г* азот бор. 1) Азот мо— лекуласининг ўртача квадратик тезлигини икки баравар орттириш учун унга қанча иссиқлик бериш керак? 2) Бунда температура неча марта ортади? 3) бунда газнинг идиш деворига бўлган босими неча марта ортади?

203. 2 *л* ҳажмли ёпиқ идишда 10^5 *Н/м*^{2} босимда 20^0С температурали гелий бор? 1) гелий температурасини 100^0 га орттириш учун унга қанча иссиқлик миқдори бериш керак? 2) янги температурада газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги қандай бўлади? 3) босим қандай бўлиб қолади? 4) гелий зичлиги қандай бўлади? 5) унинг молекулалари иссилик ҳаракатининг энергияси қандай бўлади?

204. Нормал шароитда 2 *л* ҳажмли ёпиқ идишда m грамм азот ва m грамм аргон бор. Бу газ аралашмасини 100^0 га иситиш учун унга қанча иссиқлик миқдори бериш керак?

205. Ҳавони идеал газ деб фараз қилиб, хонадаги ҳаво иситилганда, агар ташқи босим ўзгармас қолса, унинг ички энергияси ўзгармаслигини кўрсатинг.

206. Хонадаги электр иситгич бирор вақт ишлатиб қўйилди. Бунда хонадаги ҳаво температураси t_1 дан t_2 гача кўтарилди, босим эса ўзгармай, бино ташқарисидаги босим билан тенглигича қолди. Ҳавони идеал газ ҳисоблаб, хонадаги ҳавонинг ички энергияси ортишига сарф бўлган Q иссиқлик миқдорини аниқланг.

207. Қандайдир политропик процессда гелий 4 *л* бошланғич ҳажмдан охирги 1 *л* ҳажмгача сиқилди. Бунда газ босими 1 *атм* дан 8 *атм* гача ортган. Агар гелийнинг бошланғич температураси 300 К бўлган бўлса, хамма гелий массаси учун иссиқлик сиғими С ни топинг.

208. P босим V ҳажмга пропорционал бўладиган процесс учун идеал газнинг моляр иссиқлик сиғимини ҳисобланг. Газнинг C_v иссиқлик сиғими температурага болиқ эмас.

209. $V_1 = 10$ *л* ҳажмдан P = 5 *атм* босимда $V_2 = 20$ *л* ҳажмгача изобарик кенгайган бир моль бир атомли газнинг ички энергияси ўзгариши ΔU ни аниқланг.

210. 100^0 дан 250^0 С гача ўзгармас ҳажмда қиздириш учун 75 *г* сув буғига қанча иссиқлик миқдори (Q) бериш керак?

211. $m_0 = 4{,}032$ *г* водород $m_1 = 32$ *г* кислород билан аралаштирилган. Уларнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари $C_{p0} = 3{,}50$ *кал /(г × К)* ва $C_{p1} = 0{,}218$ *кал /(г × К)*. Бу аралашма ўзгармас ҳажмда $\Delta t^0 = 20^0$ С совитилганда унинг ички энергияси камайиши ΔU ни аниқланг. Иккала газ учун $\gamma = 1{,}40$.

V. Больцман тақсимоти. Максвелл тақсимоти

Барометрик формула газ босимининг бир жинсли оғирлик кучи майдонида баландликка қараб камайишини ифодалайди:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{RT}}, \qquad (1)$$

бу ерда P_0 — газнинг h=0 баландликдаги босими, P — газнинг h баландликдаги босими, g — оғирлик кучи тезланиши, R — универсал газ доимийси, T — мутлақ температура.

Больцман тақсимоти — зарраларнинг куч майдонидаги тақсимоти:

$$n = n_0 e^{-U/kT}, \qquad (2)$$

бу ерда n — зарралар концентрацияси, U — уларнинг потенциал энергияси n_0 — майдоннинг U=0 бўлган нуқталаридаги концентрацияси k — Больман доимийси.

Нисбий тезликлари u дан u+du гача оралиқда бўлган молекулалар сони:

$$dN = \frac{4}{\sqrt{p}} \cdot N \cdot e^{-u^2} \cdot u^2 du, \qquad (3)$$

бу ерда $u = \upsilon/\upsilon_э$ — нисбий тезлик, тезлик υ нинг энг катта эҳтимолли тезлик $u_Э = \sqrt{\frac{2RT}{m}}$ га нисбатига тенг.

Газ молекулаларининг ўртача арифметик тезлиги:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{pm}} \qquad (4)$$

Максвел тақсимотига доир масалалар ечишда ҳар хил u учун $\frac{DN}{N \cdot Du}$ нинг қиймати берилган 1 — жадвалдан фойдаланиш қулайдир.

1 — жадвал

u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$	u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$	u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0.1	0.02	1.0	0.83	1.9	0.22
0.2	0.09	1.1	0.82	2.0	0.16
0.3	0.18	1.2	0.78	2.1	0.12
0.4	0.31	1.3	0.71	2.2	0.09
0.5	0.44	1.4	0.63	2.3	0.06
0.6	0.57	1.5	0.54	2.4	0.04
0.7	0.68	1.6	0.46	2.5	0.03
0.8	0.76	1.7	0.36		

Баъзи бир масалаларда тезлиги берилган u тезликнинг қийматидан ортиқ бўлган молекулалар сони N_x ни билиш талаб қилинади. 2 — жадвалда N_x / N нинг қиймати берилган, бунда N — молекулаларнинг умумий сони.

2 — жадвал

u	N_x / N	u	N_x / N
0	1,000	0,8	0,734
0.2	0.994	1.0	0.572

0.4	0.957	1.25	0.374
0.5	0.918	1.5	0.213
0.6	0.868	2.0	0.046
0.7	0.806	2.5	0.0057

Ҳисоблашлар аниқроқ бўлиши учун юқоридаги жадвални миллиметрли қоғозда график кўринишида тасвирлаб олиш талаб қилинади.

Масала ечиш намуналари

1–масала. Перрен микроскоп ёрдамида муаллақ гуммигут ззррачалар концентрациясининг баландликка қараб ўзгаришини кузатади ва барометрик формулани қўллаб, экспериментал равишда Авогадро сонининг қийматинн топди. Перрен тажрибаларидан бирида қатламларнинг ораси 100 *мкм* бўлганда пастки қатламдаги муаллақ гуммигут заррачаларнинг сони юқори қатламдагидан икки марта кўп эканлигини аниқлади. 20^0С температурада $0{,}3\cdot10^{-4}$ *см* диаметрли гуммигут заррачалари унинг зичлигидан 0,2 *г/см*^{3} га кам бўлган суюқликка аралаштирилган. Бу берилганларга асосан Авогадро сони топилсин.

Ечилиши. Барометрик формуладан фойдаланамиз.

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{RT}} \qquad (1)$$

Концентрация (ҳажм бирлигидаги заррачалар сони) $n = \frac{p}{kT}$ га тенг, бундан

$$P = n\cdot k\cdot T \qquad (2)$$

(2) ни (1) га қўйиб, h_1 ва h_2 баландликлар учун мос келувчи $n_1 = n_0 e^{-\frac{mgh_1}{RT}}$ ва $n_2 = n_0 e^{-\frac{mgh_2}{RT}}$ ларни ҳосил қиламиз, бундан

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{mg(h_1-h_2)}{RT}} = e^{-\frac{mg(h_2-h_1)}{RT}} \text{ ёки}$$

$$\ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{mg(h_2-h_1)}{RT}. \qquad (3)$$

Заррачанинг массаси $m = \frac{m}{N_0}$ бўлганлигидан, (3) формулани қуйидагича ёзиш мумкин: $\ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{N_0 m(h_2-h_1)g}{RT}$, бундан, Архимед қонунига асосан киритилган тузатмани назарга олган ҳолда охирги натижани ҳосил қиламиз:

$$N_0 = \frac{RT\ln\frac{n_1}{n_2}}{gV(r-r')(h_2-h_1)} = 6{,}1\cdot10^{26} \text{ кмоль}^{-1},$$

бунда, ρ — гуммигутнинг зичлиги ва r' – суюқликнинг зичлиги.

2–масала. Идишда модда миқдори ν = 1,2 *моль* бўлган газ сақланади. Бу газни идеал газ сифатида қараб, тезликлари υ энг катта эҳтимолий тезлик $\upsilon_э$ нинг 0,001 қисмидан кам бўлган молекулалар сони ΔN аниқлансин.

Ечилиши. Масалани ечиш учун молекулаларнинг нисбий тезликлар ($u = \upsilon/u_э$) бўйича тақсимотидан фойдаланиш қулай. Нисбий тезликлари u дан u + du гача оралиқда жойлашган молекулаларнинг сони

$$dN(u) = \frac{4N}{\sqrt{p}} e^{-u^2} u^2 du \qquad (1)$$

формула билан аниқланади; бу ерда N – молекулаларнинг тўлиқ сони.

Масаланинг шартига кўра, бизни қизиқтирадиган молекула–ларнинг максимал тезлиги $\upsilon_{max}=0{,}001\upsilon_э$ бундан $u_{max}= \upsilon_{max}/\upsilon_э= 0{,}001$. u нинг бундай қийматлари учун (1) ифодани соддароқ кўринишга келтириш мумкин. Чиндан ҳам u<<1 учун $\mathbf{e^{-u^2}} \approx 1-u^2$ ни оламиз. $u=(0{,}001)^2=10^{-6}$ қийматни бирга нисбатан эътиборга олмай, (1) ифодани

$$dN(u) = \frac{dN}{\sqrt{p}} u^2 du \qquad (2)$$

кўринишда ёзамиз. Бу ифодани u бўйича 0 дан u_{max} гача чегарада интеграллаб, қуйидагини оламиз:

$$\Delta N = \frac{4N}{\sqrt{p}} \int_0^{u_{max}} u^2 du = \frac{4N}{\sqrt{p}} \frac{u^3}{3}\Bigg|_0^{u_{max}} \quad \text{ёки} \quad \Delta N = \frac{4N}{3\sqrt{p}} u_{max}^3 \qquad (3)$$

(3) даги молекулалар сони N ни модда миқдори ва Авогадро доимийси орқали ифодалаб, ΔN ни ҳисоблаб топамиз:

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 1{,}2 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 1{,}77} (10^{-3})^3 = 5{,}44 \cdot 10^{14} \text{ та молекула.}$$

3–масала. Молекулаларнинг импульслар бўйича тақсимот функцияси *f(p)* ни билган ҳолда импульс квадратининг ўртача қиймати $\overline{p^2}$ аниқлансин.

Ечилиши. Импульс квадратининг ўртача киймати $\overline{p^2}$ ни ўртача қийматни ҳисоблашнинг умумий қоидасига биноан аниқлаш мумкин:

$$\overline{p^2} = \int_0^\infty p^2 f(p) dp \Big/ \int_0^\infty f(p) dp \qquad (1)$$

Молекулаларнинг импульслар буйича тақсимот функцияси

$$f(p) = 4p \left(\frac{1}{2pmkT} \right)^{3/2} \cdot e^{-p^2/(2mkT)} \cdot p^2 \qquad (2)$$

кўринишга эга. Бу тақсимот функцияси аллақачон бирга нормаллаштирилган, яъни $\int_0^\infty f(p) dp = 1$. Нормаллаштиришни ҳисобга олиб, (1) формулани бошқачароқ кўринишда ёзамиз:

$$\overline{p^2} = \int_0^\infty p^2 f(p) dp \qquad (3)$$

f(p) нинг (2) формула бўйича ифодасини (3) формулага қўямиз ва p га боғлиқ бўлмаган катталикларни интеграл белгисидан ташқарига чиқарамиз:

$$\overline{p^2} = 4p\left(\frac{1}{2p\mathrm{mkT}}\right)^{3/2}\int_0^\infty p^4 e^{-p^2/(2\mathrm{mkT})}dp.$$

Бу интегралда, $a = \dfrac{1}{2mkT}$ деб белгилаб, уни қуйидаги жадвал интеграли кўринишига келтириш мумкин:

$$\int_0^\infty x^4 e^{-ax^2}dx = \frac{3}{8}\sqrt{p}\,a^{-5/2}.$$

Бизнинг ҳолимизда бу қуйидагини беради:

$$\overline{p^2} = 4p\left(\frac{1}{2p\mathrm{mkT}}\right)^{3/2}\cdot\frac{3}{8}\sqrt{p}\left(\frac{1}{2\mathrm{mkT}}\right)^{-5/2},$$

соддалаштириш ва қисқартиришлардан кейин қуйидаги ифодани топамиз:

$$\overline{p^2} = 3\mathrm{mkT} \qquad \text{ёки} \qquad \overline{\overline{p}} = \sqrt{3\mathrm{mkT}}$$

Масалалар

212. Энг баланд космик станция Арманистондаги Алагёс тоғида 3250 *м* баландликда жойлашган. Ҳавонинг шу баландликдаги босими топилсин. Ҳавонинг температураси ўзгармас ва 5°С га тенг деб ҳисоблансин. Бир киломоль ҳавонинг массасини 29 *кг/кмоль* га тенг деб олинсин. Денгиз сатҳидаги ҳавонинг босими 760 *мм сим. уст.* га тенг.

213. Қандай баландликда ҳавонинг босими денгиз сатҳидаги босимининг 75 % ини ташкил қилади? Температура ўзгармас ва 0^0С га тенг деб ҳисоблансин.

214. Пассажир самолёти 8300 *м* баландликда учади. Пассажирларни кислород маскаси билан таъминламаслик учун компрессор ёрдамида 2700 *м* баландликдаги босимга тенг доимий босим тутиб турилади. Кабина ичидаги ва ташқаридаги босимларнинг фарқи топилсин. Ташқи ҳавонинг ўртача температураси 0^0С деб қабул қилинсин.

215. Олдинги масалада ташқаридаги ҳавонииг температураси -20^0С ва кабинанинг ички температураси +20°С бўлса, бу ҳолда кабинадаги ҳавонинг зичлиги ташқи ҳавонинг зичлигидан неча марта катта бўлади?

216. 1 $м^3$ ҳавонинг: 1) Ернинг сиртида, 2) Ер сиртидан 4 *км* баландликда оғирлиги қанча? Ҳавонинг температурасини ўзгармас ва 0^0С га тенг деб олинсин. Ер сиртида ҳавонинг босими 10^5 $Н/м^2$ га енг.

217. Ер сиртидан қанча h баландликда атмосфера босими унинг сиртидагидан икки марта кичик бўлади? Ҳавонинг температураси Т=290 К ва баландликка боғлиқ эмас деб ҳисоблансин.

218. Учаётган вертолет кабинасидаги барометр р=90 *кПа* босимни кўрсатмокда. Агар учиш майдончасида барометр р=100 *кПа* босимни кўрсатган бўлса, вертолет қандай баландликда учмоқда? Ҳавонинг температураси Т=290 К ва баландликка боғлиқ эмас деб ҳисоблансин.

219. Босимнинг Р=100 *Па* га ўзгаришига мос келувчи баландликнинг ўзгариши Δh қуйидаги икки ҳол учун топилсин: 1) температура Т=290 К ва босим p_1 =100 *кПа* бўлган Ер сирти яқинида; 2) температура T_2=220 К, босим p_2 =25 *кПа* бўлган бирор баландликда.

220. Учаётган тайёра кабинасидаги барометр ҳамма вақт бир хил p=8 *кПа* босимни кўрсатди, шунинг натижасида учувчи h учиш баландлигини ўзгармас деб ҳисоблади. Лекин, ҳавонинг температураси ΔT=1 K га ўзгарди. Учувчи баландликни аниқлашда қандай ҳатоликка йўл қўйди? ТЕМПЕРАТУРА баландликка боғлик эмас ва Ер сиртидаги босим p_0=100 *кПа* деб ҳисоблансин.

221. Авогадро сонини аниқлаш учун Перрен сувда муаллақ сузиб юрган шарсимон гуммигут зарраларининг баландлик бўйича тақсимланишини ўлчади. У бир—биридан 30 *мкм* масофада жойлашган қатламлардаги зарралар сонининг нисбати 2,08 га тенг эканини топди. Зарраларнинг зичлиги ρ = 1,194 *г/ см*^{3}, сувники ρ_0 = 1 *г/ см*^{3} Зарралар радиуси r = 0,212 *мкм* га тенг. Шу берилганлар асосида Авогадро сони N ни ҳисобланг. Сувнинг температураси t = 18°C.

222. Ҳавода муаллақ турган чанг зарралари m = 10^{-18}*г* массага эга. Баландлик Δh= 10 *м* га ортганда уларнинг концентрацияси неча марта камаяди? Ҳавонинг температураси T = 300 K.

223. Ҳар бирининг массаси m=10^{-12} *г* дан бўлган бир хил зарралар кучланганлиги G = 0,2 *мкН/кг* бўлган бир жинсли гравитацион майдонда тақсимланган. Бир—биридан Δ*z* =10 *м* узоқликда бўлган эквипотенциал сатҳлардаги зарралар концентрациясининг нисбати % ларда аниқлансин. Температура барча қатламларда бир хил ва T = 290 K деб ҳисобланади.

224. Ҳавода муаллақ турган чанг зарралари ҳар бирининг массаси m=1 *аг* дан бўлиб, h_1=1 *м* баландликдаги чанг зарралари концентрацияси n_1 нинг уларнинг h_0 = 0 баландликдаги концентрацияси n_0 га нисбати 0,787 га тенг. Ҳавонинг температураси T = 300 K. Шу берилганлар буйича Авогадро доимийси N_A нинг қиймати топилсин.

225. Агар бир—биридан ΔZ=1 *м* масофада бўлган иккита сатх—лардаги зарралар концентрацияларининг нисбати n_1/ n_2 = *e* бўлса, ташқи бир жинсли оғирлик кучи майдонида бўлган заррага таъсир этувчи P куч аниқлансин. Температура T ҳамма жойда бир хил ва 300 K га тенг деб ҳисоблансин.

226. Ер сиртидаги кузатувчи h = 100 *м* баландликка кўтарилганда P=100 *кПа* атмосфера босими қанчага камаяди? Ҳавонинг температураси T=290 K ва баландликка боғлиқ эмас деб ҳисоблансин.

227. Қандай баландликда газ денгиз сатҳидаги зичлигининг 50% зичлигидек зичликка эга бўлади? Температурани ўзгармас ва 0°C га тенг деб ҳисоблансин. Масалани: 1) ҳаво ва 2) водород учун ечинг.

228. Центрифуганинг ротори ω бурчак тезлик билан айлан—моқда. Больцманнинг тақсимот функциясидан фойдаланиб центрифуга роторидаги m массали зарралар концентрацияси n нинг тақсимоти айланиш ўқидан узоқлик r нинг функцияси сифатида аниқлансин.

229. Роторининг радиуси 0,5 *м* бўлган центрифугада нисбий молекуляр массаси M_r =10^3 бўлган T = 300 K температурадаги газсимон модда бор. Агар ротор ν = 30 c^{-1} частота билан айланаётган бўлса, ротор деворлари ёнидаги ва унинг марказидаги молекулалар концентрацияларининг нисбати n_a / n_0 аниқлансин.

230. 132^{0}C температурали кислород гази молекулаларининг ўртача ва энг катта эҳтимолли тезлиги аниқлансин.

231. Бирор молекула тезлигининг энг кўп эҳтимолли тезликка тенг бўлиб қолишининг эҳтимоли қанчага тенг?

232. 300 *мм сим. уст.* босимда зичлиги 0,3 *г/л* бўлган газ молекулаларининг ўртача арифметик, ўртача квадратик ва эҳтимоллиги энг катта тезликлари топилсин.

233. Қандай температурада азот молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги уларнинг эҳтимоллиги энг катта тезлигидан 50 *м/с* га ортиқ бўлади?

234. 0°С да кислород молекулаларининг қанча қисми 100 *м/с* дан 110 *м/с* гача оралиқдаги тезликларга эга бўлади?

235. 150°С да азот молекулаларининг қанча қисми 300 *м/с* дан 325 *м/ с* гача оралиқдаги тезликларга эга бўлади?

236. 0°С да водород молекулаларининг қанча қисми 2000 *м/с* дан 2100 *м/с* гача оралиқдаги тезликларга эга бўлади?

237. Тезликлари $\sqrt{\overline{u}^2}$ дан $\sqrt{\overline{u}^2}$ +Δυ интервалда ётган молекулаларнинг ΔN_1 сони тезликлари $\upsilon_э$ дан $\upsilon_э$ +Δυ интервалда ётган молекулаларнинг сони ΔN_2 дан неча марта кичик?

238. Т температурада азот молекулаларининг қандай қисми $\upsilon_э$+Δυ интервалдаги тезликларга эга бўлади, бунда Δυ = 20 *м/с* ? Масала: 1) Т = 400 К ва 2) Т = 900 К учун ечилсин.

239. t=150 С температурада азот молекулаларининг қандай қисми υ_1 = 300 *м/с* дан υ_2 = 800 *м/с* интервалдаги тезликларга эга бўлади?

240. Молекулаларнинг тезликлар бўйича тақсимот функциясидан энг катта эхтимолли тезликни топиш формуласи келтириб чиқарилсин.

241. Молекулаларнинг тезликлар бўйича тақсимот функцияси ёрдамида Молекулаларнинг нисбий тезликлар u(u=υ/$\upsilon_э$) бўйича тақсимотини ифодаловчи функция олинсин.

242. Идеал газнинг муайян молекуласининг 0,5·$\upsilon_э$ тезликдан кўпи билан 1 % га фарқ қиладиган тезликка эга бўлиш эҳтимоллиги қандай бўлади?

243. Идеал газнинг муайян молекуласининг 2$\upsilon_э$ тезликдан кўпи билан 1 % га фарқ қиладиган тезликка эга бўлиш эҳтимоллиги топилсин.

244. Молекулаларнинг тезликлар бўйича тақсимот функциясидан υ тезликлари энг катта эҳтимолли тезлик $\upsilon_э$ дан жуда кичик бўлган молекулалар улуши w ни аниқловчи формула келтириб чиқарилсин.

245. Қандайдир миқдор газнинг ўртача квадратик тезликдан кичик, аммо ўртача тезликдан катта тезликка эга бўлган молекулалар сони ҳар қандай температурада бирдай бўлишини кўрсатинг.

246. Нормал шароитда 1 *см*^{3} ҳажмдаги ва тезликлари: а) 99 *м/с* билан 101 *м/с* орасида; б) 499 *м/с* билан 501 *м/с* орасида бўлган азот молекулалари сони топилсин.

247. Қандай температурада азотнинг 299 *м/с* билан 301 *м/с* интервалдаги тезликларга эга бўлган молекулаларининг сони 599 *м/с* билан 601 *м/с* интервалдаги тезликларга эга бўлган молекулалар сонига тенг бўлади?

248. Молекулалар умумий сонининг қандай қисми: 1) эҳтимоллиги энг катта тезликдан катта тезликларга, 2) эҳтимоллиги энг катта тезликдан кичик тезликларга эга бўлади?

249. Баллонда 2,5 *г* кислород бор. Тезликлари ўртача квадратик тезликдан катта бўлган кислород молекулаларининг сони топилсин.

250. Тезликлари нолдан то энг катта эҳтимолли тезлик $\upsilon_э$ нинг юздан бир бўлагигача оралиқда жойлашган идеал газ молекулаларининг нисбий сони w аниқлансин.

251. Молекулаларнинг тезликлар бўйича тақсимот функциясидан ўртача квадратик тезлик $\overline{\upsilon}_к$ аниқлансин.

252. Нормал шароитдаги водород V=1 *см*^{3} ҳажмни эгаллаб турибди. Шу хажмда бирор u_{max} = 1 *м/с* дан кичик тезликка эга бўлган молекулалар сони N аниқлансин.

253. Идишда 1600 К температурали 8 *г* кислород бор. Илгарилама ҳаракатининг кинетик энергияси W_0 = 6,65·10^{-20} *Ж* дан юқори бўлган кислород молекулаларининг сони қандай?

254. Зарядли заррачанинг энергияси кўпинча электрон—вольтларда ўлчанади. 1 *электрон—вольт* (1 *эВ*) — электроннинг потенциаллар айирмаси 1 В бўлган электр майдонидан ўтганда олган энергиясидир. 1 *эВ* = 1,6·10^{-19} *Ж* эканлигини кўрсатиш мумкин. 1) Қандай температурада молекулалар илгарилама ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси 1 *эв* га тенглиги, 2) қандай температурада ҳамма молекулалар 50% ининг илгарилама ҳаракатининг ўртача кинетик энергияск 3 *эВ* дан юқори бўлишлиги топилсин.

255. Калий атомларининг ионизация иши 10^5 *ккал/ кг×атом* га тенг. Илгарилама ҳаракатдаги барча газ молекулалари 10% ининг энергияси калийнинг битта атомини ионизациялаш учун зарур бўлган энергиядан қандай температурада катта бўлишлиги топилсин.

256. Идеал газ молекулаларининг энг катта эҳтимолли импульси $p_э$ формуласи чиқарилсин.

257. Импульслари энг катта этимолли импульс $p_э$ га теппа—тенг бўлган идеал газ молекулаларининг сони N топилсин.

258. Идеал газ молекуласи импульси ташкил этувчисининг ўртача қиймати $\overline{p}_x$ ни аниқловчи формула чиқарилсин.

259. Энергияси энг катта эҳтимолли энергияга тенг бўлган идеал газ молекуласи импульсининг ифодаси топилсин.

260. Молекулаларнинг илгариланма ҳаракат ўртача кинетик энергияси ε_n нинг ифодаси топилсин. Молекулаларнинг энергиялар буйича тақсимот функцияси маълум деб ҳисоблансин.

261. Бир хил температурада энергияси молекула илгариланма харакат ўртача энергиясидан 1 % дан кўп фарқ қилмайдиган идеал газ молекулаларининг улуши *w* аниқлансин.

262. Энергиялари ε_1=0 дан ε_2 = 0,01kT гача оралиқда жойлашган молекулаларнинг улуши аниқлансин.

263. Кинетик энергиялари нолдан 0,01$\varepsilon_э$ га тенг қийматгача оралиқда жойлашган идеал газ молекулаларининг нисбий сони *w* аниқлансин ($\varepsilon_э$— молекулалар кинетик энергиясининг энг катта эҳтимолли қиймати).

264. Тезликлари 3000 дан 3010 *м/с* оралиқда бўлган водород молекулалари сони N_1 нинг тезликлари 1500 дан 1510 *м/с* оралиқда бўлган водород молекулалари сони N_2 га нисбатини аниқланг. Водороднинг температураси 300^{0}С га тенг.

265. Максвелл тақсимотидан фойдаланиб, газ молекулалари тезлиги x—компонентасининг ўртача квадратини топинг. Бундан газ молекулалари илгариланма ҳаракатининг бир эркинлик даражасига тўғри келувчи ўртача кинетик энергияни топинг.

266. 227^{0}С температурадаги хлор молекулаларининг энг катта эҳтимолли, ўртача ва ўртача квадратик тезликларини топинг.

267. Агар газ молекулаларининг тезлик бирлиги сифатида энг катта эҳтимолли тезлик қабул қилинса, у ҳолда тезликларининг қийматлари u ва u+du оралиқда бўлган молекулалар сони газнинг температурасига боғлиқ бўлмаслигини кўрсатинг.

268. Адиабатик сиқилганда ёки кенгайганда бир атомли идеал газ молекулаларининг ўртача тезлиги босимга қандай боғлиқ бўлади?

VI. Кўчиш ҳодисалари

Газ молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги:

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}pd^2n}, \qquad (1)$$

бу ерда d – молекуланинг эффектив диаметри, n – ҳажм бирлигидаги молекулалар сони.

Барча молекулаларнинг вақт бирлиги ичида ўртача умумий тўқнашувлари сони:

$$Z = \frac{1}{2}\bar{z} \bullet N, \qquad (2)$$

бу ерда $\bar{z}$ – ҳар бир молекуланинг қолган молекулалар билан вақт бирлиги ичидаги ўртача тўқнашувлари сони.

Диффузия учун Фик қонуни:

$$dm = -D\frac{d\rho}{dx}\Delta Sdt \qquad (3)$$

бу ерда dm – диффузия натижасида ΔS – юзали сирт орқали dt вақтда кўчирилган газ массаси, dρ/dx – зичлик градиенти, D – диффузия коэффициенти бўлиб, қуйидагига тенг:

$$D = \frac{1}{3}\bar{u} \cdot \bar{l}, \qquad (4)$$

$\bar{u}$ – молекулаларнинг ўртача арифметик тезлиги.

Газнинг вақт бирлиги ичида кўчирилган импульси газдаги ички ишқаланиш кучига тенг:

$$F = -\eta\frac{d\upsilon}{dx}\Delta S \qquad (5)$$

бу ерда $\frac{du}{dx}$ – юзага ΔS га тик йўналишдаги газ оқимининг тезлик градиенти, η – ички ишқаланиш (қовушоқлик) коэффициенти бўлиб, қуйидаги формула орқали ифодаланади:

$$\eta = \frac{1}{3}r\bar{u}\bar{l} \qquad (6)$$

Иссиқлик ўтказувчанлик натижасида dt вақт ичида кўчирилган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг:

$$dQ = \chi\frac{dT}{dx}\Delta S \bullet dt, \qquad (7)$$

бу ерда $\frac{dT}{dx}$ – юза ΔS га тик йўналишдаги температура градиенти, K – иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, у

$$\chi = \frac{1}{3}\rho\bar{\upsilon}\bar{\lambda}C_v \qquad (8)$$

га тенг. Бу ерда C_v – ўзгармас ҳажмдаги газнинг солиштирма иссиқлик сиғими.

Масала ечиш намуналари

1– масала. 0°С температура ва бирор босимда кислород молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли 9,5 $\cdot 10^{-8}$ *м* га тенг. Агар ўзгармас температурада идишдаги кислороднинг бир қисмини насос билан дастлабки босимнинг 0,01 мм қисмига тенг бўлганга қадар сўриб олинса, кислород молекулаларинипг 1 с даги ўртача тўқнашишлари сони нимага тенг?

Ечилиши. Кислород молекулаларининг бир секунддаги тўқнашишлар сони $\bar{z} = \frac{\bar{u}}{\bar{l}_2}$ формуладан топилади. Бунда $\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{pm}}$ ва $\bar{\lambda}_2 = \bar{\lambda}_1 \frac{p_1}{p_2}$.

Шундай қилиб,

$$\bar{z} = \frac{\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}}{\bar{\lambda}_1 \frac{p_1}{p_2}}. \qquad (1)$$

Шартга кўра $\frac{P_1}{P_2} = 100$, $\bar{l}_1 = 9{,}5 \cdot 10^{-3}$ м, Т = 273 К. Бу қийматларни (1) га қўйсак, $\bar{z}$ = 4,5·19^7 c^{-1} бўлади.

2–масала. Узунликлари *l* = 10 *см* дан бўлган иккита юпқа деворли коаксиал цилиндрлар умумий ўқлари атрофида эркин айланишади. Катта цилиндрнинг радиуси R = 5 *см*. Цилиндрлар орасидаги масофа d=2 *мм*. Иккала цилиндр ҳам нормал шароитда ҳавода турибди. Ички цилиндрни ўзгармас ν_1 = 20 c^{-1} частота билан айлантирилди. Ташқи цилиндр тормозланган. Бўшатилганидан қанча вақт ўтганидан кейин ташқи цилиндр ν_2 = 1 c^{-1} айланиш частотасига эга бўлиши аниқлансин. Ҳисоблашларда цилиндрлар нисбий тезликларининг ўзгариши инобатга олинмасин. Ташқи цилиндрнинг массаси m = 100 *г*.

Ечилиши. Ички цилиндр айланганда ҳаво қатлами унинг орқасидан эргашади ва айланма ҳаракатда қатнаша бошлайди. Амалда бу цилиндр сирти ёнидаги ҳаво қатлами вақт ўтиши билан цилиндр сиртидаги нуқталар тезлигидек, яъни $\bar{u} = 2\pi\nu_1(R-d)$ чизиқли тезликни олади. d << R эканлигидан, қуйидагини тахминан ёзиш мумкин:

$$\upsilon \approx 2\pi\nu_1 R. \qquad (1)$$

Ички ишқаланиш натижасида импульс моменти газнинг қўшни қатламларига ва пировардида ташқи цилиндрга узатилади. Δt вақт оралиғида ташки цилиндр L = kR импульс моментини олади, бунда k ташқи цилиндр Δt вақтда олган импульс. Бундан

$$k = L/R \qquad (2)$$

Бошқа томондан

$$k = \eta \frac{d\upsilon}{dz} S \bullet \Delta t \qquad (3)$$

бу ерда η — қовушоқлик коэффициенти; $\frac{du}{dz}$ - тезлик градиенти; S —цилиндр сиртининг юзаси ($S=2\pi R\cdot l$).

(2) ва (3) ифодаларнинг ўнг томонларини тенглаштириб ва топилган тенгликдан изланаётган вақт оралиғи Δt ни ифодалаб қуйидагини оламиз.

$$Dt = \frac{L}{hR\frac{du}{dz}\cdot S} \qquad (4)$$

Бу формулага кирувчи L, $\frac{du}{dz}$ *ва* S катталикларни топамиз. Импульс моменти $L = I\omega_2$. Бунда I — цилиндрнинг инерция моменти ($I = mR^2$); m — унинг массаси; ω_2 — ташқи цилиндрнинг бурчак тезлиги ($\omega_2=2\pi\nu_2$). Буни ҳисобга олиб, қуйидагини ёзамиз:

$$L = mR^2\cdot 2\pi\nu_2 = 2\pi mR^2\nu_2$$

Тезлик градиенти $\frac{du}{dz}=\frac{u}{z}=\frac{u}{d}$. Цилиндрнинг юзаси $S=2\pi\cdot R\cdot l$, L, $\frac{dv}{dz}$ *ва* S ларнинг ифодаларини (4) га қўйсак,

$$\Delta t = \frac{md\nu_2}{\eta v l}.$$

Бу ерда v ни (1) бўйича алмаштириб, қуйидагини топамиз:

$$\Delta t = \frac{md\nu_2}{2\pi\eta Rl\cdot\nu_1}. \qquad (5)$$

Ҳавонинг динамик қовушоқлиги η = 17,2 *мкПа·с* = $1{,}72\cdot10^{-5}$ *Па·с*

(5) га кирувчи катталикларнинг қийматларини қўйиб, ҳисобласак,

$$\Delta t = \frac{100\cdot10^{-3}\cdot2\cdot10^{-3}\cdot1}{2\cdot3{,}14\cdot1{,}72\cdot10^{-5}\cdot5\cdot10^{-2}\cdot10\cdot10^{-2}\cdot20}\ c = 18{,}5\ c.$$

3—масала. Ташқи радиуси $r_2 = 10$ *см*, ички радиуси $r_1 = 9$ *см* ва баландлиги h = 20 *см* бўлган цилиндрик термос муз билан тўлдирилган. Музнинг температураси 0°С; ташқаридаги ҳавонинг температураси эса 20°С. 1) термоснинг икки девори орасидаги ҳавонииг босими энг кўпи билан қандай бўлгунча иссиқлик ўтказувчаллик коэффициенти босимга боғлиқ бўлиб қолаверади? Ҳаво молекуласининг диаметрини $\sigma = 3\cdot10^{-8}$ *см* га тенг, термос деворлари орасидаги ҳавонинг теЭмпературасини эса муз ва ташқи муҳит температураларининг ўртача арифметик қийматига тенг деб олинсин. 2) босим; а) 760 *мм сим. уст.* ва б) 10^{-4} *мм сим. уст.* га тенг бўлганда термос деворлари орасидаги ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти топилсин (μ = 29 *кг/кмоль*). 3) иссиқлик ўтказувчанлик туфайли 9,5 *см* ўртача радиусли термоснинг ён сиртидан 1 *мин* давомида қанча иссиқлик миқдори

ўтади? Масала: а) 760 *мм сим. уст.* ва б) 10^{-4} *мм сим. уст.* босимлар учун ечилсин.

Ечилиши. 1) Ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти $\bar{l} = d$ бўлганида босимга боғлиқ бўла бошлайди, бунда d – термос деворлари орасидаги масофа. Маълумки $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p}$, бундан $\bar{l} = d$ бўлганда $p = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 d}$ га эга бўламиз. Масалада берилганларнинг сон қийматларини ўрнига қўйсак, P = $7{,}6\cdot10^{-3}$ *мм сим. уст.* эканлигини топамиз. 2) а) $\chi = 13{,}1\cdot10^{-3}$ *Вт/м·град.* б) Агар P= 10^{-4} *мм сим. уст.* бўлса, эркин югуриш йўлининг узунлиги $\bar{l}$ термос деворлари орасидаги масофага тенг бўлади. Унда $\chi = 17{,}8\cdot10^{-5}$ *Вт/м•град.*

3) Маълумки $Q = \chi\frac{\Delta T}{\Delta x}\cdot\Delta S\cdot\Delta t.$ Лекин $\Delta S = 2prl$ бунда $r = \frac{r_1 + r_2}{2}$. Унда $Q = \chi\frac{\Delta T}{\Delta x}2\pi rl\Delta l_1.$ Масалада берилганлариииг сон қийматларини ўрнига қўйсак: а) Q = 188 *Ж* = 45 *кал* ва б) C = 25,5 *Ж* = 0,61 *кал* бўлади.

Масалалар

269. p=0,1 *Па* босим ва T=100 K температурада водород молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги топилсин.

270. Агар газнинг температураси T=300 K бўлса, қандай P босимда азот молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги 1 *м* бўлади?

271. V=10 *л* сиғимли баллонда массаси m=1 *г* бўлган водород сақланади. Молекулалар эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги аниқлансин.

272. T=280 K температурада азот сақланаётган d=20 *см* диаметрли колбада ҳосил қилинган P=100 *мкПа* босимли вакуумни юқори вакуум деб ҳисоблаш мумкинми?

273. Икки молекуланинг ўртача нисбий ҳаракат тезлиги $\sqrt{2}\bar{\upsilon}$, бунда $\bar{\upsilon}$ идиш деворларига нисбатан ўртача тезлик. Шунга асосан икки молекула тезлиги орасидаги бурчакнинг ўртача қиймати ҳақида қандай хулоса чиқариш мумкин?

274. Агар азот молекулаларининг нормал босимдаги ўртача эркин югуриш йўли $6\cdot10^{-6}$ *см* бўлса, босим қанча бўлганда у 1 *мм* га тенг бўлади?

275. Қандай босимдаги водород молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги 2,5 *см* бўлади? Температура – 68°C.

276. 2 *мм сим. уст.* босимли ва 27^0C температурали кислород молекулаларининг эркин югуришининг ўртача вақти топилсин.

277. Агар 100^0C температурада карбонат ангидрид молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли $8{,}7\cdot10^{-2}$ *см* га тенг бўлса; молекулаларнинг 1 *с* даги ўртача тўқнашишлари сони топилсин.

278. Нормал шароитда 0,5 *л* ҳажмли идишда кислород бор. Бу ҳажмдаги кислород молекулаларининг 1 *с* даги ўзаро тўқнашиш–ларининг умумий сони топилсин.

279. Агар икки атомли газнинг ҳажми адиабатик равишда 2 баравар орттирилса, газ молекулаларининг 1 *с* даги тўқнашишлар сони неча марта камаяди?

280. Зичлиги $\rho = 2{,}1\cdot10^{-2}$ *кг/м*^{3} бўлганда гелий атомларининг ўртача эркин югуриш йўли топилсин.

281. 0^0C температура ва бирор босимда кислород молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли $9{,}5\cdot10^{-8}$ *м* га тенг. Агар ўзгармас температурада

идишдаги кислороднинг бир қисмини насос билан дастлабки босимнинг 0,01 *мм* қисмига тенг бўлганга қадар сўриб олинса, кислород молекулаларининг 1 *с* даги ўртача тўқнашишлари сони нимага тенг бўлади?

282. Нормал шароитда V=1 $мм^3$ ҳажмни эгаллаб турган водороднинг барча молекулалари орасида t=1 *с* давомида бўладиган хамма урилишлар сони N топилсин.

283. Газ разрядли трубкада T=300 K температура ва p=1 *Па* босимда неон бор. t=1 *с* вақтда юзаси S= 1 $см^2$ бўлган диск шаклига эга катодга урилувчи неон атомларининг сони N топилсин

284. 1) Изохорик; 2) изобарик жараёнлар учун идеал газ молекуласи 1 *с* да тўқнашишлари ўртача сонининг температура T га боғлиқлиги топилсин. Бу боғланишлар графикларда тасвирлансин.

285. Маълум бир шароитда газ молекулаларшшнг ўртача эркин югуриш йўли $1{,}6\cdot10^{-7}$ *м* га ва ўртача арифметик тезлиги эса 1,95 *км/с* га тенг. Агар берилган температурада газнинг босимини 1,27 марта камайтирилса, бу газ молекулаларининг 1 *с* даги ўртача тўқнашишлар сони нимага тенг бўлади?

286. Идишда зичлиги ρ_1 = 1,7 $кг/м^3$, шу шароитда молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли $\overline{l} = 7{,}9 \cdot 10^{-6}$ *см* га тенг бўлган карбонат ангидрид гази бор. Карбонат ангидрид гази молекулаларининг диаметри топилсин.

287. 10^0C температура ва 1 *мм сим. уст.* босимда азот молекулаларининг иккита кетма—кет тўқнашишлари орасидаги ўртача вақт топилсин.

288. Идишдаги ҳавони босими 10^{-6} *мм сим. уст.* гача сўриб олинган. Бу ҳолда идишдаги ҳавонинг зичлиги, идишнинг ҳар бир 1 $см^3$ ҳажмидаги молекулаларининг сони ва молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли топилсин. Ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* ва бир киломоль ҳаво массаси μ = 29 *кг/кмоль* та тенг деб ҳисоблансин. Ҳаво температураси 17^0C га тенг.

289. 15 *см* диаметрли сферик идишдаги газнинг молекулалари бир—бири билан тўқнашмаслиги учун 1 $см^3$ ҳажмда энг кўпи билан қанча молекула бўлиши керак? Газ молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* га тенг деб олинсин.

290. Газнинг молекулалари бир—бири билан тўқнашмаслиги учун диаметри: 1) 1 *см*, 2) 10 *см* ва 3) 100 *см* бўлган сферик идишнинг ичида қандай босим ҳосил қилиш керак? Газ молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* га, газ—нинг температурасини 0^0C га тенг деб олинсин.

291. Разряд найида катод билан аноднинг ораси 15 *см* та тенг. Электронлар катоддан анодгача бўлган йўлда ҳавонинг молекулалари билан тўқнашмаслиги учун разряд найида қандай босим ҳосил қилиш керак? Температура 27^0C га тенг. Ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* га тенг деб олинсин. Газда электронларнинг ўртача эркин югуриш йўли шу газ молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўлидан 5,7 марта катта.

292. 1 *л* ҳажмли сферик колбада азот бор. Азотнинг зичлиги қандай бўлганда азот молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли идишнинг ўлчамидан катта бўлади?

293. Агар бирор газ молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли $5\cdot10^{-4}$ *см* ва ўртача квадратик тезлиги 500 *м/с* бўлса, шундай шароитда газ молекуласшшнг 1 *с* даги ўртача тўқнашишлар сони топилсин.

294. Нормал шароитда 1 $см^3$ ҳажмдаги азот молекулаларининг 1 *с* ичидаги барча ўзаро тўқнашишлари сони аниқлансин.

295. Нормал шароитда азотнинг эркин югуриш ўртача йўли $6\cdot10^{-6}$ *см* га тенг. Бирор миқдордаги азот нормал шароитдан 300^0C температурали ҳолатга

ўтган. Агар ўтиш процесси қуйидагича, яъни: а) изохорик; б) изобарик; в) адиабатик тарзда бажарилса, унда азотнинг янги ҳолатидаги эркин югуриш йўли қанча?

296. Газ молекуласининг эркин югуриш йўли ўртача узунлиги $\overline{l}$ ни ҳисоблашни соддалаштириш учун қаралаётган, тезлиги иссиклик ҳаракати ўртача тезлиги $\overline{u}$ га тенг бўлган молекуладан бошқа ҳамма молекулалар тинч ҳолатда турибди, деб фараз қилиш мумкин. Бу соддалаштиришдан фойдаланиб $\overline{l}$ ни, шунингдек, молекулаларнинг бирлик вақт ичида тўқнашишларининг ўртача сони $\overline{z}$ ни ҳисоблаб топинг. Молекулаларни d диаметрли қаттиқ шарча деб фараз қилинг.

297. Атмосфера босимидаги водород учун эркин югуриш йўли узунлиги $1{,}28\cdot10^{-5}$ *см* га тенг. Водород молекуласининг эффектив диаметри d ни топинг.

298. Нормал шароитда 1 $см^3$ даги кислород молекулалари орасида ҳар 1 *с* да қанча тўқнашув рўй беради? Кислород молекуласининг эффектив диаметри $d = 3{,}1\cdot10^{-8}$ *см* га тенг.

299. Идеал газ ўзгармас босимда қиздирилмоқда. Газ молекулаларининг эркин югуриш йўли узунлиги ва бир секунддаги тўқнашишлари сони $\overline{z}$ температура ортиши билан қандай ўзгаради?

300. Идеал газ изотермик сиқилмокда. $\overline{l}$ ва $\overline{z}$ нинг босимга қандай боғлиқ бўлишини аниқланг.

301. Идеал газ адиабатик сиқилмокда. $\overline{l}$ ва $\overline{z}$ нинг босимга қандай боғлик бўлишини аниқланг.

302. Агар нормал шароитда водород молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли $1{,}6\cdot10^{-7}$ *м* га тенг бўлса, шундай шароитда водороднинг диффузия коэффициенти топилсин.

303. Нормал шароитда гелийнинг диффузия коэффициенти топилсин.

304. Агар юзга тик йўналишдаги азотнинг зичлик градиенти 1,26 $кг/м^4$ га тенг бўлса, диффузия натижасида 100 $см^2$ юздан 10 *с* да ўтган азотнинг миқдори топилсин. Азотнинг температураси 27^0С; азот молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли 10^{-5} *см*.

305. Агар гелийнинг 0^0С температура ва 760 *мм сим. уст.* босимда ички ишқаланиш коэффициенти (динамик ёпишқоқлиги) $1{,}3\cdot10^{-4}$ *г/см×с* га тенг бўлса, шундай шароитда гелий молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли топилсин.

306. Агар нормал шароитда азотнинг диффузия коэффициенти 0,142 $см^2/с$ га тенг бўлса, шундай шароитда азотнинг ички ишқаланиш коэффициенти топилсин.

307. 10^0С температура ва 760 *мм сим. уст.* босимда ҳавонинг диффузия ва ички ишқаланиш коэффициентлари топилсин. Ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-10}$ *м* га тенг деб олинсин.

308. Маълум бир шароитда водороднинг диффузия ва ички ишқаланиш коэффициентлари мос равишда $D = 1{,}42$ $см^2/с$, ва $\eta = 8{,}5\cdot10^{-6}$ $Н×с/м^2$ га тенг. Шундай шароитда 1 $м^3$ ҳажмдаги водород молекулаларининг сони топилсин.

309. $t = 0^0$С температурада кислороднинг диффузияси коэффициенти D = 0,19 $см^2/с$. Кислород молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги аниқлансин.

310. Азотнинг диффузияси коэффициенти; 1) нормал шароитда: 2) P = 100 *Па* босим ва T = 300 *К* температурада ҳисоблансин.

311. Бир хил шароитда бўлган газ ҳолатидаги водороднинг диффузияси коэффициенти газ ҳолатидаги кислороднинг диффузияси коэффициенти дан неча мартага фарқ қилиши аниқлансин.

312. Нормал шаротидаги кислороднинг қовушоқлик коэффициенти ҳисоблансин.

313. 300 *К* температура ва 100 *кПа* босимда қовушоқлик коэффициенти η = 17 *мкПа×с* бўлган азот молекулалари эркин югуриш йўлининг ўртача узунлиги топилсин.

314. Нормал шароитларда гелийнинг диффузияси коэффициенти *D* $=1{,}06\cdot10^{-4}$ $м^2/с$. Шу шароитда гелийнинг динамик қовушоқлиги η топилсин.

315. 1) Изобарик; 2) изохорик жараёнлар учун динамик қовушоклик η нинг температура Т га боғлиқлиги аниқлансин. Бу боғланишлар графикларда тасвирлансин.

316. Бирор газнинг қовушоқлиги шу газнинг 0,9 *мм* қалинликдаги қатлами билан бир—биридан ажралган икки пластинканинг ўзаро ишқланиш кучини ўлчаш усули билан аниқланади. Газнинг босими 2,8 $Н/м^2$ бўлганда газнинг қовушоқлиги $0{,}80\cdot10^{-5}$ $Н\times с/м^2$ бўлган, босим 10,9 $Н/м^2$ ва 16,0 $Н/м^2$ бўлганда қовушқоқлик $1{,}9\cdot10^{-5}$ $Н\times с/м^2$ га тенг бўлиб чиққан. Нормал босимли ушбу газ молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги тахминан қанча?

317. Кислороднинг диффузия ва ички ишқаланиш коэффициентлари мос равишда $D=1{,}22\cdot10^5$ $м^2/с$ ва $\eta = 1{,}95\cdot10^{-5}$ *кг/м×с* га тенг. Шундай шароитда 1) кислороднинг зичлиги, 2) кислород молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли ва 3) молекулаларининг ўртача арифметик тезлиги топилсин.

318. 0,3 *мм* диаметрли ёмғир томчиси қандай энг катта тезликка эриша олади? Ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-10}$ *м* га, ҳавонинг температурасини 0^0С га тенг деб олинсин. Ёмғир томчиси учун Стокс қонуни ўринли деб ҳисоблансин.

319. Самолёт 360 *км/соат* тезлик билан учмоқда. Ёпишқоқлик туфайли самолёт қаноти сиртидан 4 *см* наридаги ҳаво қатлами самолётга эргашмайди деб ҳисоблаб, қанот сиртининг ҳар бир квадрат метрига таъсир қилувчи уринма куч топилсин. Ҳаво молекулаларининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* га, ҳавонинг температурасини 0^0С га тенг деб олинсин.

320. Иккита коаксиал цилиндрнинг оралиғидаги фазо газ билан тўлдирилган. Цилиндларнинг радиуслари мос равишда r = 5 *см* ва R = 5,2 *см* га тенг. Ички цилиндрнинг баландлиги эса h = 25 *см* га тенг. Ташқи цилиндр ν = 360 *айл/с* частотага мос тезлик билан айланади. Ички цилиндрнингг ҳаракатсиз қолишлиги учун унга уринма равишда $F = 1{,}38\cdot10^{-3}$ *Н* куч қўйилиши керак. Биринчи яқинлашишда бу ҳолни ясси пластинкалар каби қараб, тажрибада берилганларга асосан цилиндрлар орасидаги газнинг ёпишқоқлик коэффициенти топилсин.

321. Радиуси R_1 = 10 *см* ва узунлиги l = 30 *см* бўлган цилиндр R_2=10,5 *см* радиусли цилиндр ичига хар иккала цилиндрнинг айланиш ўқлари мос келадиган қилиб жойлаштирилган. Кичик цилиндр ҳаракатсиз,каттаси эса геометрик ўқига нисбатан ν=15 $с^{-1}$ частота билан айланмоқда. Цилиндрлар турган газнинг динамик қовушоқлиги η = 8,5 *мкПа×с*. 1) Ички дилиндрнинг S = 1 $см^2$ юзали сиртига таъсир этаётган уринма куч F_τ; 2) шу цилиндрга таъсир этаётган айлантирувчи момент М аниқлансин.

322. Радиуслари R = 20 *см* дан бўлган иккита горизонтал диск бир—бирининг устида ўқлари мос тушадиган тарзда жойлашган. Дискларнинг

сиртлари орасидаги масофа d = 0,5 *см*. Юқоридаги диск ҳаракатсиз, пастдагиси эса геометрик ўқига нисбатан $\nu = 10\ c^{-1}$ частота билан айланмоқда. Юқоридаги дискка таъсир этадиган айлантирувчи момент М топилсин. Дисклар турган ҳавонинг динамик қовушоқлиги η = 17,2 *мкПа·с*.

323. 10^0С температурада ва 10^5 *Н/м*^{2} босимда ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти топилсин. Ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-8}$ *см* га тенг деб олинсин.

324. V = 2 *л* ҳажмли идишда икки атомли газнинг N=$4\cdot10^{22}$ та молекуласи бор. Газнинг иссиқлиқ ўтказувчанлик коэффициенти χ = 0,014 *Вт/м·град* га тенг. Шундай шароитда газнинг диффузия коэффициенти топилсин.

325. Дьюар идишининг деворлари орасидаги масофа 8 *мм* га тенг. Ҳавоси сўриб олинаётганда, қандай босимдан бошлаб Дьюар идишининг деворлари орасидаги ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти камайиб боради? Ҳавонинг температурасини 17^0С га, ҳаво молекуласининг диаметрини $3\cdot10^{-7}$ *мм* га тенг деб олинсин.

326. Дераза ромлари орасидаги ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлиги туфайли дераза орқали ҳар соатда қанча иссиқлик миқдори сарф бўла боради. Ҳар битта ромнинг юзи 4 *м*^{2} га, ромларнинг оралиги эса 30 *см* га тенг. Бинодаги температура 18^0С, ташқи муҳитдаги температура 20^0С. Ҳаво молекулаларининг диаметри $3\cdot10^{-8}$*см* га тенг. Ромлар орасидаги ҳавонинг температурасини бинодаги ва ташқи муҳитдаги температураларнинг ўртача арифметик қийматига тенг деб олинсин. Босим 760 *мм сим. уст.* га тенг.

327. Бир—биридан 1 *мм* оралиқда бўлган иккита пластинкалар орасида ҳаво бор. Пластинкалар орасида ΔТ = 1 К температуралар фарқи доимий сақланади. Ҳар битта пластинканинг юзи S = 100 *см*^{2} га тенг. Иссиқлик ўтказувчанлик туфайли бир пластинкадан иккинчисига 10 *мин* давомида қанча иссиқлик миқдори ўтади. Ҳаво нормал шароитда деб ҳисоблансин. Ҳаво молекулаларининг диаметри $3\cdot10^{-10}$ *м* га тенг, деб олинсин.

VII. Газ кенгайишида бажариладиган иш. Иссиқлик машиналари

Термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидаги кўринишга эга: dQ=dU+dA., бу ерда dQ—газнинг олган иссиқлик миқдори, dU—газ ички энергиясининг ўзгариши ва dA=PdV газнинг ҳажми dV га ўзгарганда унинг бажарган иши.

Газнинг ҳажми изотермик равишда V_1 дан V_2 га ўзгарганда бажарган иши:

$$A = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \qquad (1)$$

Газнинг изобарик жараёнда бажарган иши:

$$A=P(V_2-V_1) \qquad (2)$$

Адиабатик жарёнда газнинг бажарган иши:

$$A = \frac{RT_1}{(\gamma-1)} \frac{m}{\mu}\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right] = \frac{P_1V_1(T_1-T_2)}{(\gamma-1)\ T_1}, \qquad (3)$$

бу ерда T_1—газнинг бошланғич, T_2 —унинг оҳирги температураси.

Иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициенти (Ф.И.К.):

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \qquad (4)$$

бу ерда Q_1—ишчи жисмга берилган иссиқлик миқдори, Q_2—совутгичга берилган иссиқлик миқдори

Карно цикли учун Ф.И.К.:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \qquad (5)$$

бу ерда T_1—иситгичнинг температураси, T_2—совуттгичнинг температураси.

Масала ечиш намуналари

1— масала. m = 0,2 *кг* массали водород ўзгармас босимда t_1=0°C температурадан то t_2=100°C температурагача қиздирилганда ютадиган иссиқлик миқдори аниқлансин. Шунингдек, газ ички энергиясининг ўзгариши ва бажарган иши топилсин.

Ечилиши. Изобарик қизитишда газ ютадиган иссиқлик миқдори

$$Q=mC_p\Delta T \qquad (1)$$

формула бўйича аниқланади; бунда m — қиздирилаётган газнинг массаси; C_p — унинг ўзгармас босимдаги солиштирма иссиқлик сиғими; ΔT — газ температурасининг ўзгариши.

Маълумки $C_p = \frac{(i+2)}{2} \frac{R}{\mu}$. C_p нинг бу ифодасини (1) формулага қўйсак,

$$Q = m\frac{i+2}{2}\frac{R}{m}DT.$$

Бу формула бўйича ҳисоблаш ўтказсак,

$$Q = 291\,кЖ.$$

Ички энергия $U = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RT$ формула билан ифодаланади, бинобарин, ички энергиянинг ўзгариши

$$DU = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RDT.$$

Бу формулага катталикларнинг сон қийматларини қўйиб ҳисоб—лашни бажарсак,

$$\Delta U = 208 \ \ кЖ.$$

Газнинг кенгайишдаги ишини термодинамиканинг биринчи қону—нини ифодаловчи формула $Q = \Delta U + A$ дан аниқлаймиз:

$$A = Q - \Delta U.$$

Q ва ΔU ларнинг қийматларини ўрнига қўйсак,

$$A = 83 \ \ кЖ.$$

2—масала. $1 \cdot 10^{-2}$ *м*^{3} ҳавони $2 \cdot 10^{-3}$ *м*^{3} ҳажмгача сиқиш керак. Газни қандай сиқиш фойдали: адиабатикми ёки изотермикми?

Ечилиши. Адиабатик сиқишда бажарилган иш

$$A_a = \frac{m}{m} \cdot \frac{RT}{(g-1)}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{g-1}\right]$$

ва изотермик сиқишда бажарилган иш

$$A_i = \frac{m}{m} \cdot RT \ ln\frac{V_2}{V_1}$$

Бундан

$$\frac{A_a}{A_i} = \frac{\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{g-1}\right]}{(g-1)ln\frac{V_2}{V_1}} \qquad (1)$$

Бизда $V_1=10^{-2}$ *м*^{3}; $V_2=2 \cdot 10^{-3}$ *м*^{3}; (γ-1)=0,4. Бу қийматларни (1) га қўйсак $\frac{A_a}{A_i} = 1{,}4$ келиб чиқади. Демак, изотермик сиқиш фойдалироқдир.

3— масала. Карно цикли бўйича ишлайдиган иссиқлик машинасининг иситкичи t_1=200°C температурага эга. Агар иситкичдан Q_1 = 1 *Ж* иссиқлик миқдори олинганда машина A=0,4 *Ж* иш бажарса, совиткичнинг температураси T_2 аниқлансин. Ишқаланишдаги ва иссиқлик беришдаги йўқотиш ҳисобга олинмасин.

Ечилиши. Совиткичнинг температурасини Карно цикли бўйича ишлайдиган машиналарнинг термик ФИК учун ёзилган $h = (T_1 - T_2)/T_1$ ифодадан фойдаланиб топамиз. Бундан

$$T_2 = T_1(1-h). \qquad (1)$$

Иссиклик машинасининг термик ФИК механик иши А га айлантирилган иссиқлик миқдорининг иссиқлик машинасининг ишчи жисми ташқи муҳитдан

(иситкичдан) оладиган иссиқлик миқдори Q_1 га нисбатини ифодалайди, яъни $h = A/Q_1$. Бу ифодани (1) формулага қўйиб, қуйидагини топамиз:

$$T_2 = T_1(1 - A/Q_1). \qquad (2)$$

T_1=473 К эканлигини ҳисобга олиб, (2) формула бўйича ҳисобласак,

$$T_2 = 284 \text{ К}.$$

Масалалар

328. Массаси m = 4 *г* бўлган водород ўзгармас босим остида 10 К га қиздирилган. Газ кенгайишининг иши А аниқлансин.

329. V_1 =12 *л* ҳажмни эгаллаган P_1 = 100 *кПа* босим остидаги газ T_1 = 300 К температурадан то T_2 = 400 К температурагача изобарик равишда қиздирилади. Газ кенгайишининг иши А аниқлансин.

330. Агар m = 5 *г* массали водород Т = 290 К температурада изотермик равишда кенгайганда унинг ҳажми уч марта ошган бўлса, бунда қандай А иш бажарилган?

331. Массаси m = 1 *кг* бўлган кислородни адиабатик сиқишда А = 100 *кЖ* иш бажарилди. Агар сиқилгунча кислород T_1 = 300 К температурада бўлган бўлса, газнинг охирги температураси T_2 аниқлансин.

332. $3 \cdot 10^5$ *Н/м*^{2} босимда бўлган 10°С температурали 10 *г* кислородни ўзгармас босимда иситиш натижасида у кенгайиб 10 *л* ҳажмни эгаллаган. 1) Газнинг олган иссиқлик миқдори, 2) газ ички энергиясининг ўзгариши, 3) газнинг кенгайишда бажарган иши топилсин.

333. Температураси 27°С бўлган 6,5 *г* водород ўзгармас босимда ташқаридан берилаётган иссиқлик ҳисобига икки марта кенгайган. 1) Газнинг кенгайиш иши, 2) газ ички энергиясинииг ўзгариши, 3) газга берилган иссиқлик миқдори топилсин.

334. Ёпиқ идишда 20 *г* азот ва 32 *г* кислород бор. Бу газ аралашмасини 28 *К* га совитилганда, унинг ички энергиясининг ўзгариши топилсин.

335. 2 *кмоль* карбонат ангидрид гази ўзгармас босимда 50 *К* га иситилган. 1) Газ ички энергиясининг ўзгариши, 2) кенгайганда бажарилган иш, 3) газга берилган иссиқлик миқдори топилсин.

336. Икки атомли газ изобарик равишда кенгайганда 160 *Ж* иш бажарилган. Газга қанча иссиқлик миқдори берилган?

337. $2 \cdot 10^5$ *Н/м*^{2} босим остида бўлган 17°С температурали 5 *л* ҳажмни эгаллаган газ иситилганда изобарик равишда кенгайган. Бунда газнинг кенгайиш иши 200 *Ж* га тенг бўлган. Газ неча градусга иситилган?

338. Кўп атомли 1 *кмоль* газ эркин кенгая олиш шароитида 100 К га иситилган. 1) газга берилган иссиқлик миқдори, 2) газ ички энергиясининг ўзгариши, 3) кенгайишда бажарган иши топилсин.

339. 10,5 *г* азот −23°С температурада изотермик p_1 = 2,5 *атм* босимдан p_2 = 1 *атм* босимгача кенгаяди. Газнинг кенгайишда бажарган иши топилсин.

340. 17°С температурали 10 *г* азот изотермик кенгайганда 860 *Ж* га тенг иш бажарган. Азот кенгайганда босими неча марта ўзгарган?

341. Бирор 10 *г* газ изотермик V_1 ҳажмдан V_2 = $2V_1$ ҳажмгача кенгайганда 575 *Ж* га тенг иш бажарган. Бу температурадаги газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги топилсин.

342. 2 *м*^{3} газ изотермик кенгайганда унинг босими p_1 = 5 *ат* дан p_2 = 4 *ат* гача ўзгарган. Бунда бажарилган иш топилсин.

343. 0^0C температурадаги ҳаво адиабатик V_1 ҳажмдан $V_2 = 2V_1$ ҳажмгача кенгайса, у қандай температурагача совийди?

344. Агар массаси m = 4 *г* бўлган водород адиабатик кенгайишида унинг температураси ΔT = 10 K га пасайса, адиабатик кенгайишидаги иш A аниқлансин.

345. Массаси m = 2 *г* бўлган T_1 = 300 K температурадаги азот шундай адиабатик сиқилганки, ҳажми n = 10 марта камайган. Газнинг охирги температураси T_2 ва сиқиш иши A аниқлансин.

346. P = 1,2 *МПа* босим остида V_1 = 1 *л* ҳажмни эгаллаган кислород V_2 = 10 *л* ҳажмгача адиабатик кенгайди. Газ кенгайишининг иши A аниқлансин.

347. Ички ёнув двигателининг цилиндридаги ҳаво адиабатик сиқилади ва бунда унинг босими p_1 = 1 *атм* дан p_2 = 35 *атм* гача ўзгаради. Ҳавонинг бошланғич температураси 40°C. Ҳавонинг сиқилгандан кейинги температураси топилсин.

348. Газ адиабатик кенгаяди ва бунда унинг ҳажми икки баравар ортади, температураси (абсолют) эса 1,32 марта пасаяди. Бу газ молекуласининг эркинлик даражаси қандай?

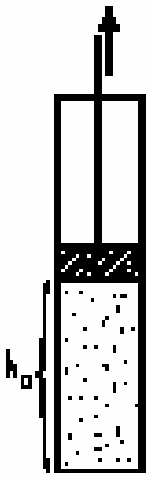
349. 27°C температура ва $2\cdot10^6$ *Н/м*^{2} босимда икки атомли газ адиабатик V_1 ҳажмдан $V_2 = 0{,}5V_1$ ҳажмгача сиқилади. Сиқилгандан кейинги газнинг температураси ва босими топилсин.

350. Нормал шароитда идиш поршени остида газ бор. Идиш тубидан поршенгача бўлган масофа 25 *см* га тенг. Поршенга 20 *кг* юк қўйилганда у 13,4 *см* пастга тушган. Сиқилишни адиабатик ҳисоблаб, берилган газ учун C_p/C_v нисбат топилсин. Поршеннинг кўндаланг кесим юзи 10 *см*^{2} га тенг; поршеннинг оғирлиги назарга олинмасин.

351. Газ адиабатик кенгайиб, унинг босими 2 *атм* дан 1 *атм*гача. пасаяди. Кейин газ ўзгармас ҳажмда бошланғич температурасигача иситилади, бунда унинг босими 1,22 *атм* гача кўтарилади, 1) Бу газ учун C_p/C_v нисбат топилсин. 2) Бу жараённинг графиги чизилсин.

352. Нормал шароитда 1 *кмоль* азот адиабатик V_1 ҳажмдан $V_2 = 5V_1$ ҳажмгача кенгаяди. 1) Газ ички энергиясининг ўзгариши, 2) кенгайишда бажарилган иш топилсин.

353. Цилиндрда поршень остидаги берк фазода ҳаво қамалган (1 — расм). Агар ҳаво устунининг бошланғич баландлиги h_0 =15 *см* бўлса ва ташқи босим p_0 = 760 *мм сим. уст.* га тенг бўлса, унда поршенни h_1 = 10 *см* юқорига кўтариш учун қанча иш бажариш керак? Поршень юзи S = 10 *см*^{2}. Поршень оғирлигини назарга олмаслик мумкин. Температура ўзгармай қолади.



1-расм

354. а) Қандайдир массали азот 1 *ат* босимда 5 *л* ҳажмни эгаллаб, босим 3 *ат* бўлганда эса — 2 *л* ҳажмни эгаллаган. Биринчи ҳолатдан иккинчи ҳолатга икки босқич билан: аввал изохора бўйича, ундан кейин изобара бўйича ўтилган. Ички энергиянинг ўзгариши, иссиқлик миқдори ва бажарилган иш анақлансин.

б) Шу ҳисоблашни босқичларнинг тескари тартибда ўтиш ҳоли учун, яъни: аввал изобара бўйича, ундан кейин изохора бўйича ҳолат ўзгариши учун бажаринг. Нима учун а) ва б) ҳолларда ҳисоблаш натижалари ҳар хил?

355. Қандайдир миқдорли икки атомли газ (γ = 1,4) бир гал изотермик, иккинчи гал адиабатик равишда сиқилади. Сиқилаётган газнинг ҳар иккала галдаги бошланғич температура ва босимлари бир хил. Охирги босим бошланғич босимдан n марта катта. Адиабатик ва изотермик

процесслардаги сиқилиш ишлари нисбатини топинг. а) $n = 2$; б) $n = 100$ бўлгандаги ҳоллар қараб чиқилсин.

356. Водород $p_1 = 100$ *кПа* босимда $V_1 = 10$ $м^3$ ҳажмни эгаллайди. Газ ўзгармас ҳажмда $p_2 = 300$ *кПа* босимгача қиздирилди. 1) газ ички энергиясининг ўзгариши; 2) газ бажарган иш; 3) газга берилган иссиқлик миқдори аниқлансин.

357. Ўзгармас $p = 80$ *кПа* босимда кислород қиздирилмоқда. Бунда унинг ҳажми $V_1 = 1$ $м^3$ дан $V_2 = 3$ $м^3$ гача ортди. 1) Кислороднинг ички энергиясининг ортиши ΔU; 2) кенгайишида унинг бажарган иши A; 3) газга берилган иссиқлик миқдори Q аниқлансин.

358. $m = 2$ *кг* массали кислород $P_1 = 0{,}2$ *МПа* босим остида $V_1 = 1$ $м^3$ ҳажмни эгаллаб турибди. Газ олдинига ўзгармас босимда $V_2 = 3$ $м^3$ ҳажмгача, кейин эса ўзгармас ҳажмда $P_3 = 0{,}5$ *МПа* босимгача қиздирилди. 1) Газ ички энергиясининг ўзгариши ΔU; 2) у бажарган иш A; 3) газга берилган иссиқлик миқдори топилсин. Жараённинг графиги тузилсин.

359. Изобарик жараёнда идеал газга берилган Q_1 иссиқлик миқдорининг қандай улуши газ ΔU ички энергиясининг ортишига ва қандай улуши кенгайиш иши A га сарфланади? Газ; 1) бир атомли; 2) икки атомли; 3) уч атомли бўлган ҳоллар қаралсин.

360. $m = 200$ *г* массали азот $T = 280$ K температурада изотермик кенгаймоқда ва бунда газнинг ҳажми икки марта ортди. 1) Газ ички энергиясининг ўзгариши ΔU; 2) газ кенгайишида бажарилган иш A; 3) газ олган иссиқлик миқдори Q топилсин.

361. $m = 10$ *г* массали водород $T = 200$ K га қиздирилди ва бунда унга $Q = 40$ *кЖ* иссиқлик миқдори берилди. Газ ички энергиясининг ўзгариши ΔU ва у бажарган иш A топилсин.

362. Модда миқдори $\nu = 1$ *моль* бўлган $T = 300$ K температурадаги кислород изотермик кенгайганда унга $Q = 2$ *кЖ* иссиқлик миқдори берилди. Газнинг ҳажми неча марта ортган?

363. Бошланғич температураси T_1=320 K бўлган кислород адиабатик кенгайишида ички энергияси $\Delta U = 8{,}4$ *кЖ* га камайди, ҳажми эса $n = 10$ марта ошди. Кислороднинг массаси m аниқлансин.

364. Цилиндрдаги поршень остида $T = 300$ K температурада $m = 0{,}02$ *кг* массали водород бор. Водород олдинига адиабатик равишда кенгайиб ўз ҳажмини беш марта орттирди, кейин эса изотермик равишда сиқилди ва бунда газнинг ҳажми беш марта камайди. Адиабатик кенгайиш охиридаги температура T_2 ва газ бажарган тўла иш A топилсин

365. Адиабатик сиқилиш натижасида $m = 20$ *г* массали кислороднинг ички энергияси $\Delta U = 8$ *кЖ* га ортди ва температураси $T_2 = 900$ K гача кўтарилди. 1) температуранинг ортиши ΔT; 2) агар бошланғич босим $p_1 = 200$ *кПа* бўлса, газнинг охирги босими p_2 топилсин.

366. Дизель двигателидаги ёқилғи аралашмаси $T_2 = 1100$ K температурада алангаланади. Аралашманинг бошланғич температураси $T = 350$ K. Алангаланиши учун сиқишда аралашма ҳажмини неча марта камайтириш керак? Сиқиш адиабатик деб ҳисоблансин. Аралашма учун адиабата кўрсаткичи $\gamma = 1{,}4$ деб қабул қилинсин.

367. Икки атомли газнинг ҳажми икки баравар кенгайтирилганда газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги неча марта камаяди?

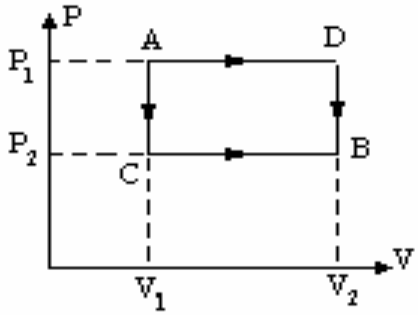
368. Нормал шароитдаги 10 *г* кислород $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ $м^3$ ҳажмгача сиқилади. Кислороднинг 1) изотермик, 2) адиабатик сиқилгандан кейинги босими ва

температураси топилсин. Бу ҳолларнинг ҳар бирида бажарилган сиқиш иши топилсин.

369. Бири бир атомли, бошқаси икки атомли ҳар хил газлар бир хил температурада бўлиб, бир хил ҳажмни эгаллайди. Газлар ҳажми икки марта камайгунча адиабатик сиқилган. Газларнинг қайси бири кўпроқ исийди ва неча марта?

370. Қандайдир миқдордаги кислород t_1 = 27°C температурада ва p_1 = $8{,}2\cdot10^5$ *Н/м*^{2} босимда V_1 = 3 *л* ҳажмни эгаллайди (2— расм).

Газ иккинчи ҳолатда V_2 = 4,5 *л* ва p_2 = $6\cdot10^5$ *Н/м*^{2} параметрларга эга. Газнинг олган иссиқлик миқдори; кенгайишда газнинг бажарган иши; газнинг ички энергиясинииг ўзгариши топилсин. Масала қуйидаги ҳоллар учун ечилсин: газ бир ҳолатдан иккинчисига: 1) ACB ва 2) ADB йўллар билан ўтади.



2- расм

371. Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинаси ҳар бир циклда иситгичдаи 600 *кал* иссиқлик олади. Иситгичнинг температураси 400 К, совитгичнинг температураси 300 К . Машинанинг бир циклда бажарган иши ва бир циклда совитгичга берган иссиқлик миқдори топилсин.

372. Идеал иссиқлик машинаси Карно цикли бўйича ишлайди. Агар бир циклда 3000 *Ж* га тенг иш бажарилганлиги ва совитгичга 3,2 *ккал* иссиқлик берилгани маълум бўлса, циклнинг ф. и. к. аниқлансин.

373. Бир моль идеал газ V_1 ҳажмдан V_2 ҳажмгача изотермик кенгаймоқда. Газ бажарган А ишни ва газга берилган Q иссиқлик миқдорини аниқланг.

374. Агар m = 7 *г* азот изотермик сиқилганда унинг босими n = 50 марта ортган бўлса, бу процессда ажралган Q' иссиқлик миқдорини аниқланг. Шу билан бир қаторда сиқиш процессида бажарилган A' ишни аниқланг. Газнинг температураси t = 27°C га тенг.

375. Политропик процесс деб, иссиқлик сиғими C ўзгармас сақланадиган процессга айтилади. Политропик процессни тасвирловчи эгри чизиқни политропа чизиғи деб аталади. Иссиқлик сиғими C_v температурага боғлиқ бўлмаган идеал газ учун политропа тенгламасини топинг. Ушбу хусусий ҳолларни қаранг: 1) $C = C_v$, 2) $C = C_P$, 3) $C = 0$, 4) $C = \infty$.

376. Агар изобарик қайтувчан иситиш процессида бир атомли газ А = 10 *Ж* иш бажарган бўлса, унга қанча Q иссиқлик миқдори берилган?

377. Сиғими 10 *л* бўлган идишга P = 1 *атм* босим остида кислород қамалган. Идиш деворлари P_1 = 10 *атм* босимгача бардош бера олади. Газга энг кўпи билан қанча Q иссиқлик миқдори бериш мумкин?

378. Агар 1 *кг* аргонни ўзгармас 760 *мм сим. уст.* босимда 2°C иситиш учун унга 250 *кал* иссиқлик бериш кераклиги, уни 10 *атм* босим остида 5 *л* ўзгармас ҳажмда 100 дан 0°C гача совитилганда эса 500 *кал* иссиқлик ажралиши маълум бўлса, аргон учун $\gamma = C_P/C_v$ нисбат қанчага тенг?

379. Газ Клапейрон тенгламаси PV = RT га бўйсунади. Фақат термодинамиканинг биринчи бош қонунидан фойдаланиб, бу тенглама учун иссиқлик сиғимлар фарқи $C_p - C_v$ ни топинг.

380. Қуйидагилардан қайси бирининг ички энергияси кўпроқ: ички ёнув двигатели цилиндридаги ишчи жисм аралашмасининг сиқиш такти охиридаги (учқун чиқиш олдидаги) ички энергиясими ёки унинг сиқиш маҳсулотининг иш йўли тактининг охиридаги ички энергиясими?

381. Идеал иссиқлик машинаси қиздиргичининг температураси 117°С, совиткичиники 27°С. Машинаниг 1 *с* да қиздиргичдан олаётган иссиқлик миқдори 60 *кЖ* га тенг. Машинанинг ФИК ни, 1 *с* да совитгичга берилаётган иссиқлик миқдорини ва машинанинг қувватнни ҳисобланг.

382. Идеал иссиқлик машинасида қиздиргичдан олинаётган ҳар бир *киложоуль* энергия ҳисобига 300 *Ж* иш бажарилади. Агар совуткичнинг температураси 280 К бўлса, машинаниг ФИК ни ва қиздиргичнинг температурасини аниқланг.

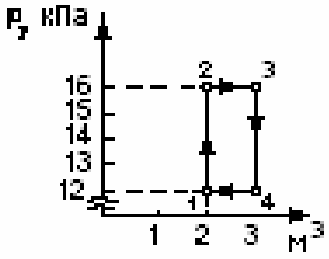
383. Буғ турбинасида 1 *кВт* ˣ *соат* энергия ҳосил қилиш учун 0,35 *кг* дизель ёнилғиси сарф бўлади. Турбинага келаётган буғнинг температураси 250°С, совиткичники 30°С. Турбинанинг фактик ФИК ини ҳисобланг ва уни ўшандай температура шароитида ишлаётган идеал иссиқлик машинасининг ФИК билан таққосланг.

384. Моторли велосипеднинг 25 *км/соат* ҳаракат тезлигида 100 *км* йўлга бензин сарфи 1,7 *л*, унга ўрнатилган двигателнинг ФИК 20% бўлса, двигатель қандай ўртача қувват ҳосил қилади?

385. Айланма жараённи бажариб, газ иситкичдан Q = 4 *кЖ* иссиқлик миқдори олди. Агар унинг ФИК 10 % бўлса, бу жараёнда газнинг бажарган иши А аниқлансин.

386. Модда миқдори ν = 1 *моль* бўлган икки атомли идеал газ иккита изохора ва иккита изобарадан иборат жараённи бажармоқда. Энг кичик ҳажм V_{min} = 10 *л*, энг каттаси V_{max} = 20 *л*, энг кичик босим P_{min} = 24 *кПа*, энг каттаси P_{max} = 410 *кПа*. Жараённинг графиги тузилсин. Жараённинг характерли нуқталари учун температура Т ва унинг ФИК аниқлансин.

387. Модда микдори ν = 1 *кмоль* бўлган икки атомли идеал газ графиги 3—расмда тасвирланган ёпиқ циклни бажаради, 1) иситкичдан олинган иссиклик миқдори Q_1; 2) совиткичга берилган иссиқлик миқдори Q_2; 3) газнинг цикл давомида бажарган А иши; 4) циклнинг ФИК аниқлансин.



3 - расм

388. Кўп атомли идеал газ иккита изохора ва иккита изобарадан иборат жараённи бажарди. Бунда газнинг энг катта босими энг кичик босимидан икки марта катта, энг катта ҳажми эса энг кичик ҳажмидан тўрт марта катта бўлди. Жараённинг ФИК аниқлансин.

389. Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинаси ҳар бир циклда $7{,}35 \cdot 10^4$ *Ж* иш бажаради. Иситгичнинг температураси 100°С, совитгичнинг температураси 0°С, 1) Машинанинг ФИК, 2) машинанинг бир циклда иситгичдан олган иссиқлик миқдори, 3) бир циклда совитгичга берган иссиқлик миқдори топилсин.

390. Идеал иссиқлик машинаси Карно цикли бўйича ишлайди. Бунда иситгичдан олинган иссиқликнинг 80% и совитгичга берилади. Иситгичдан олинган иссиқлик миқдори 1,5 *ккал* га тенг. 1) циклнинг ФИК, 2) тўла циклда бажарилган иш топилсин.

391. Идеал газнинг бир киломоли иккита изохора ва иккита изобарадан иборат ёпиқ циклни бажаради. Бунда газнинг ҳажми V_1 = 25 $м^3$ дан V_2 = 50 $м^3$ гача ва босими P_1 = 1 *атм* дан P_2 = 2 *атм* гача ўзгаради, Бундай циклда бажарилган иш, ҳажми изотермик кенгайтирилганда икки марта ортган ва изотермалари қараб чиқилаётган циклнинг энг юқори ва энг паст

температураларига мос келган Карно цикли бўйича бажарилган ишдан неча марта кичик?

392. Тескари Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинаси, ҳар бир циклда $3{,}7 \cdot 10^4$ *Ж* га тенг иш бажаради. Бунда машина — 10^0 С температурали жисмдан иссиқлик олиб, = 17°С температурали жисмга иссиқлик беради. 1) циклнинг ФИК, 2) бир циклда совуқ жисмдан олинган иссиқлик миқдори, 3) бир циклда иссиқ жисмга берилган иссиқлик миқдори топилсин.

393. Идеал совитиш машинаси тескари Карно цикли бўйича иссиқлик насосидек ишлайди. Бунда машина 2°С температурали сувдан иссиқлик олади ва уни 27°С температурали ҳавога беради. 1) Бирор вақт оралиғида ҳавога берилган иссиқлик миқдорини шунча вақтда сувдан олинган иссиқлик миқдорига бўлган нисбатидан иборат η_1 коэффициент; 2) бирор вақт оралиғида сувдан олинган иссиқлик миқдорини шунча вақт оралиғида машинанинг ишлаши учун сарфланган энергияга бўлган нисбатидан иборат η_2 коэффициент (η_2— машинанинг совитиш коэффициенти дейилади); 3) бирор вақт оралиғида машинанинг ишлаши учун сарфланган энергияни шунча вақтда ҳавога берилган иссиқлик миқдорига бўлган нисбатидан иборат η_3 коэффициент (η_3 - циклнинг фойдали иш коэффициенти) топилсин. η_1, η_2 ва η_3 коэффициентларнинг ўзаро боғланиши топилсин.

394. Тескари Карно цикли бўйича ишлайдиган идеал совитиш машинаси 0°С температурадаги сувли совитгичдан 100°С температурадаги сувли қайнатгичга иссиқлик узатади. Қайнатгичда 1 *кг* сувни буғга айлантириш учун совитгичда қанча миқдор сувни музлатиш керак?

395. Идеал газ Карно циклини бажармоқда. Совиткичнинг температураси T_2 = 290 К. Агар иситкичнинг температураси T_1 = 400 К дан 600 К гача кўтарилса, циклнинг ФИК неча марта ортади?

396. Идеал газ Карно циклини бажармокда. Иситкичнинг температураси T_1 = 470 К, совиткичнинг температураси эса T_2 = 280 К. Изотермик кенгайишда газ А = 100 *Ж* иш бажаради. Циклнинг ФИК ҳамда изотермик сиқилишда газ совиткичга берган иссиқлик миқдори Q_2 аниқлансин.

397. Идеал газ Карно циклини бажармокда. Иситкичнинг температураси T_1 совиткичнинг температураси T_2 дан тўрт марта юқори. Газ бир циклда иситкичдан оладиган иссиқлик миқдорининг қандай улушини совутгичга беради?

398. Карно циклини бажараётган идеал газ иситкичдан Q_1 = 4,2 *кЖ* иссиқлик миқдори олиб, А = 590 *Ж* иш бажарди. Бу циклнинг ФИК топилсин. Иситкичнинг температураси T_1 совиткичнинг температураси T_2 дан неча марта катта?

399. Карно циклини бажараётган газнинг энг кичик ҳажми V_1 = 153 *л*. Агар газнинг изотермик кенгайишининг охиридаги V_2 ҳажми ва изотермик сиқилишнинг охиридаги V_4 ҳажми мос равишда 600 *л* ва 189 *л* га тенг бўлса, энг катта ҳажм V_3 аниқлансин.

400. Карно машинасинипг Ф.И.К.ни оширишнинг қайси йўли назарий жиҳатдан самаралироқ: совиткичнинг T_2 температурасини ўзгартирмасдан иситкичнинг T_1 температурасини ΔT га оширибми ёки иситкичнинг T_1 температурасини ўзгартирмасдан иситкичнинг T_2 температурасини худди шундай ΔT миқдорга пасайтирибми?

401. Ф.И.К. η = 40% бўлган Карно иссиқлик машинаси худди шу резервуарлари билан совиткич машина сифатида фойдаланила бошланди. Агар

бу машинага ҳар бир циклда A = 10 *кЖ* иш сарфланса, машина бир цикл давомида совиткичдан иситкичга қанча Q_2 иссиқлик олиб ўтиши мумкин?

402. Карно иссиқлик машинасидан бирор резервуардаги температурани $t_2 = -3°C$ да сақлаб туриш учун совиткич машина сифатида фойдаланилади. Атрофдаги ҳаво температураси $t_1 = 27°C$ га тенг. Агар резервуар қопламасидан $Q_2 = 900$ *кал* иссиқлик олиб кетилса, машинадан бир цикл давомида қанча механик иш бажариш талаб қилинади?

403. Ишчи жисмни идеал газдан иборат деб фараз қилиб, икки изотерма ва икки изобарадан иборат циклнинг ФИК ни топинг.

VIII. Энтропия.

Тизим А ҳолатдан В ҳолатга ўзганда энтропиянинг ўзгариши қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$DS = \int_A^B \frac{dQ}{T} \qquad (1)$$

Больцман формуласи:

$$S = k\,ln\frac{w}{w_0}, \qquad (2)$$

бу ерда k—Больцман доимийси, w—тизим ҳолатининг термодинамик эҳтимоллиги, w_0—ҳисоб боши деб қабул қилинган ҳолатнинг термодинамик эҳтимоллиги.

Масала ечиш намуналари

1— масала. Массаси m = 200 *г* бўлган сувни t_1 = 0^0C дан t_2 = 100°C температурагача қиздиришда ва сувнинг шундай температурали буғга айланишида энтропиянинг ўзгариши ΔS топилсин.

Ечилиши. Сувнинг қизишида энтропиянинг ўзгариши ΔS′ ва уни буғга айланишида энтропиянинг ўзгариши ΔS′′ ни алоҳида—алоҳида топамиз. Энтропиянинг тўлиқ ўзгариши ΔS′ ва ΔS′′ ларнинг йиғиндиси каби ифодаланади.

Маълумки, энтропиянинг ўзгариши

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_0^2 \frac{dQ}{T} \qquad (1)$$

умумий формула билан ифодаланади.

Қиздирилаётган жисм температурасининг чексиз кичик dT ўзгаришига dQ = mCdT иссиқлик миқдори сарфланади, бунда m — жисм массаси, C — унинг солиштирма иссиқлик сиғими. dQ нинг ифодасини (1) формулага қўйиб, сувнинг қизишида энтропиянинг ўзгаришини ҳисоблаш учун формулани топамиз:

$$\Delta S' = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mCdT}{T}$$

Ўзгармас катталикларни интеграл белгисидан ташқарига чиқарамиз ва интеграллаймиз:

$$\Delta S' = mC\ln(T_2 / T_1).$$

Ҳисоблашларни бажарсак,

$$\Delta S' = 264 \quad Ж / К$$

Сувнинг шундай температурали буғга айланишида энтропиянинг ўзгаришини (1) формулага биноан ҳисоблаганда ўзгармас температура T интеграл белгисидан ташқарига чиқарилади. Интегрални ҳисоблаб, қуйидагини топамиз:

$$\Delta S'' = \frac{1}{T}\int_1^2 dQ = \frac{Q}{T}, \qquad (2)$$

бунда Q - қиздирилган сувнинг шундай температурали буғга айланишида берилган иссиқлик миқдори.

(2) тенгликка иссиқлик микдорининг $Q = lm$ ифодасини қўйиб (бунда λ буғ ҳосил бўлишининг солиштирма иссиқлиги), қуйидагини оламиз:

$$\Delta S'' = \frac{lm}{T}. \qquad (3)$$

(3) формула бўйича ҳисоблаш ўтказсак,

$$DS'' = 1210 \quad Ж/К.$$

Сувнинг қизишида ва кейин унинг шундай температурали буғга айланишида энтропиянинг тўлиқ ўзгариши

$$\Delta S = \Delta S' + \Delta S'' = 1474 \quad Ж/К$$

2−масала. Массаси m = 20 *г* бўлган кислороднинг V_1 = 25 *л* ҳажмдан V_2 = 100 *л* ҳажмгача изотермик равишда кенгайишида энтропиянинг ўзгариши ΔS аниқлансин.

Ечилиши. Жараён изотермик бўлганлигидан энтропиянинг умумий $\Delta S = S_2^{'} - S_1^{'} = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ ифодасида температурани интеграл белгисидан ташқарига чиқарилади. У ҳолда:

$$\Delta S = \frac{1}{T}\int_1^2 dQ = \frac{Q}{T}. \qquad (1)$$

Газ олган иссиқлик миқдори Q ни термодинамиканииг биринчи қонунидан фойдаланиб топамиз: $Q = \Delta U + A$. Изотермик жараён учун ΔU = 0, бинобарин,

$$Q = A, \qquad (2)$$

бу жараён учун эса иш

$$A = \frac{m}{m} RT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right), \qquad (3)$$

формула билан аниқланади.

(2) ва (3) ҳисобга олинганда (1) қуйидаги кўринишни олади:

$$\Delta S = \frac{m}{m} R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right). \qquad (4)$$

(4) га сон қийматларни қўйиб ҳисобласак,

$$\Delta S = (20 \cdot 10^{-3} / (32 \cdot 10^{-3})) \cdot 8{,}31 \cdot \ln(100 \cdot 10^{-3} / (25 \cdot 10^{-3})) \quad Ж/К = 7{,}2 \quad Ж/К$$

3 −масала. 6 *г* водород $1{,}5 \cdot 10^5$ *Н/м*^{2} босим ва 20 *л* ҳажмдан $1 \cdot 10^5$ *Н/м*^{2} босим ва 60 *л* ҳажмга ўтишида эптропиянинг ўзгариши топилсин.

Ечилиши. Биз юқоридаги масалада энтропияни T ва V параметрларнинг функцияси сифатида топдик. Бу масалада эса энтропияни V ва p параметрлар орқали ифодалаш талаб қилинади. Маълумки,

$$DS = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{m} R \ln\frac{V_2}{V_1} \qquad (1)$$

Лекин Менделеев−Клапейрон тенгламасидан

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \qquad (2)$$

(2) ни (1) га қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$DS = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{m} C_V \ln\frac{V_2}{V_1} + \frac{m}{m} R \ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{m} C_P \ln\frac{V_2}{V_1}$$

Масалада берилган қийматларни ўрнига қўйсак, ΔS = 71,0 *Ж/К* бў—лади.

Ўқувчиларга эптропияни р ва Т параметрлар орқали ифода қилиб, қуйидаги формулани олиш тавсия қилинади:

$$DS = \frac{m}{m} C_P \ln\frac{T_2}{T_1} - \frac{m}{m} R \ln\frac{p_2}{p_1}.$$

Масалалар

404. 30 *см*^{3} темирнинг 20°С дан 100°С гача исигандаги энтропия ўзгариши аниқлансин.

405. 2 *г* ҳавонинг: а) ҳажми ўзгармаганда, б) босими ўзгармаганда, 40°С дан 0°С гача совигандаги энтропия ўзгариши топилсин.

406. 2 *кг* сув 10°С дан 100°С гача иситилиб шу температурада буғга айлантирилгандаги энтропияси ўзгариши аниқлансин.

407. Қуйидаги жараёнларда энтропиянинг ўсиши кўрсатилсин:

а) иссиқ сув ўз иссиқлигини ўша массали совуқ сувга берганда ҳар иккала сувнинг температураси тенглашиб қолади.

б) ўз иссиқлигини теварак—атрофга чиқармайдигаи қилиб изоляцияланган иккита бир хил идишга тенг миқдорда турли босимли идеал газ қамалган бўлиб, у идишлар жўмракли най воситасида бир—бирига уланган. Жўмракни очганда хар иккала идишдаги газнинг ҳолати бир хил бўлиб қолади.

408. 100°С ли 200 *г* темир 12°С ли 300 *г* сувли калориметрга солинган. Температуранинг тенглашишида системанинг энтропияси қандай ўзгаради?

409. Бир хил Т = 300°К температурали ва р = 1 *атм* босимли V_1 = 5 *л* ва V_2 = 3 *л* ҳажмли икки (бир—бирига кимёвий таъсир қилмайдиган) турли газ аралаштирилади. Шундаги энтрония ўзгариши аниқлансин.

410. Жуда кичик иссиқлик сиғимли калориметрдаги 23°С ли 250 *г* сувга 0°С ли 27 *г* муз ташланган. Муз эриб тугаш пайтигача юз берган энтропия ўзгариши аниқлансин.

411. —20°С даги 10 *г* музнинг 100^{0}С ли буғга айланишидаги энтропиянинг ўзгариши топилсин.

412. Эриб турган 640 *г* қўрғошинни 0°С даги музга қуйилган. Бу жараёнда энтропиянинг ўзгариши топилсин.

413. 8 *г* кислороднинг 80°С температурадаги 10 *л* ҳажмдан 300°С температурадаги 40 *л* ҳажмга ўтишида энтропиянинг ўзгариши топилсин.

414. 6 *г* водород 1,5·10^5 *Н/м*^{2} босим за 20 *л* ҳажмдан 1·10^5 *Н/м*^{2} босим ва 60 *л* ҳажмга ўтишида энтропиянинг ўзгариши топилсин.

415. 6,6 *г* водород ҳажми икки баравар ортгунча изобарик кенгаяди. Бундай кенгайишда энтропиянинг ўзгариши топилсин.

416. 8 *г* гелийнинг V_1 = 10 *л* ҳажмдан V_2 = 20 *л* ҳажмгача изобарик кенгайишида энтропиянинг ўзгарши топилсин.

417. 6 *г* водороднинг 10^5 *Н/м*^{2} босимдан 0,5·10^5 *Н/м*^{2} босимгача изотермик кенгайишида энтропия ўзгариши топилсин.

418. 10,5 *г* азот V_1 = 2 *л* ҳажмдан V_2 = 5 *л* ҳажмгача иэотермик кенгайган. Бу процессда энтропиянииг ўзгариши топилсин.

419. 10 *г* кислород t_1 = 50°C дан t_2 = 150°C гача иситилган. Агар иситиш: 1) изохорик ва 2) изобарик бўлса, энтропиянииг ўзгариши топилсин.

420. T_1 = 280 K температурадаги m_1 = 5 *кг* массали сувни T_2 = 350 K температурадаги m_2 = 8 *кг* массали сув билан аралаштирдилар. 1) Аралашманинг температураси θ; 2) аралаштиришда энтропиянинг ўзгариши ΔS топилсин.

421. Массаси m = 1 *г* бўлган водородни изохорик қиздириш натижасида газнинг босими икки марта ортди. Газ энтропиясининг ўзгариши ΔS аниқлансин.

422. m = 4 *г* массали азотнинг V_1 = 5 *л* ҳажмдан то V_2 = 9 *л* ҳажмгача изобарик кенгайишида энтрониянинг ўзгариши ΔS топилсин.

423. t_1 = - 10°C температурадаги m = 200 *г* массали муз парчаси t_2 = 0°C гача иситилиб эритилган ва сўнгра ҳосил бўлган сув t = 10°C гача иситилган. Кўрсатилган жараёнлар давомида энтропиянинг ўзгариши ΔS аниқлансин.

424. t_1 = 0°C температурадаги m_1 = 2 *кг* массали муз температураси t_2 = 100°C бўлган буғ ёрдамида худди ўша (0°C) температурадаги сувга айлантирилди. Сарфланган буғнинг массаси m_2 аниқлансин. Муз—буғ тизими энтропиясииинг ўзгариши ΔS қандай?

425. m=2 *кг* массали кислород бир марта изотермик, бошқасида адиабатик равишда ўз ҳажмини n = 5 мартага оширди. Кўрсатилган жараёнларнинг ҳар бирида энтропиянинг ўзгариши топилсин.

426. m =100 *г* массали водород шундай изобарик қиздирилдики, унинг ҳажми n_1 = 3 марта ошди, кейин водород шундай изохорик совитилдики, босими n_2 = 3 марта камайди. Кўрсатилган жараёнлар давомида энтропиянинг ўзгариши ΔS топилсин.

427. 1 *кмоль* икки атомли газ иситилганда унинг мутлоқ температураси 1,5 марта ортган. Агар газ; 1) изохорик ва 2) изобарик иситилса, энтропиянинг ўзгариши топилсин.

428. 22 *г* азот иситилиш натижасида унинг абсолют температураси 1,2 марта, энтропияси эса 4,19 *Ж/град* га ортган бўлса, у қандай шароитда иситилган (ўзгармас ҳажмдами ёки ўзгармас босимдами)?

429. 0°C температура ва 20 *Н/см*^{2} босимда бир куб метр ҳаво V_1 ҳажмдан $V_2 = 2V_1$ ҳажмгача изотермик кенгаяди. Бу процессда энтропиянинг ўзгариши топилсин.

430. V_1 ҳажмнинг исталган нуқтасида бўлиши мумкин бўлган n та молекуланинг маълум бир пайтда шу ҳажмнинг V_2 қисмида бўлишининг эҳтимоллиги $W = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$ тенглик билан ифодаланишига асосланган ҳолда, идеал газнинг V_2 ҳажмдан V_1 ҳажмгача изотермик кенгайишида энтропиянинг ўзгариши $\Delta S = k\ln w$ тенглик билан ифодаланишини кўрсатинг, бунда k — Больцман доимийси.

431. Бир моль идеал газ PV^n = const политропа бўйича V_1 ҳажмдан V_2 ҳажмгача кенгайганда унинг ички энергияси ва энтропияси ўзгаришини ҳисобланг. Изотермик ва адиабатик жараёнлардаги хусусий ҳолларни қаранг.

432. Бир моль идеал бир атомли газ PV^3 = const политропа бўйича V_1 = 1 *л* ҳажм ва P_1 = 20 *атм* босимдан V_2 = 3 *л* ҳажмгача кенгайганда унинг ички энергияси ва энтропияси ўзгаришини ҳамда шу кенгайишда ютилган иссиқлик миқдорини ҳисобланг. Жараён давомида температура ўзгариши шундайки, моляр иссиқлик сиғими учун $C_V = \frac{3}{2}R$ ўринли деб олиш мумкин.

433. Бирдай ҳажмли икки идишда ҳар хил идеал газ бор. Биринчи идишдаги газ массаси m_1 иккинчи идишдаги газ массаси m_2, газларнинг босими ва температураси бир хил. Идишлар ўзаро туташтирилди ва диффузия жараёни бошланди. Агар биринчи газнинг молекуляр массаси μ_1, иккинчи газники эса μ_2 бўлса, қаралаётган система энтропиясининг умумий ўзгариши ΔS ни аниқланг.

434. Ҳар бирининг ҳажми V = 1 *л* дан бўлган икки баллон жўмракли най билан туташтирилган. Баллонларнинг бирида босими 1 *атм* ва температураси t_1 = 20°С бўлган водород, иккинчисида босими 3 *атм* ва температураси t_2 = 100°С бўлган гелий бор. Жўмрак очилиб, мувозанат ҳолат қарор топгандан сўнг система энтропиясининг ўзгариши ΔS ни аниқланг. Баллон ва най деворлари газларни атроф—муҳит иссиқлигидан тўла изоляциялайди.

435. Иссиқликдан изоляцияланган цилиндрик идиш вазнсиз поршень билан иккита тенг қисмга ажратилган. Поршеннинг бир томонида C_p ва C_V моляр иссиқлик сиғимлари температурага боғлиқ бўлмаган, молекуляр массаси μ ва массаси m бўлган идеал газ бор, иккинчи томонида эса юқори вакуум ҳосил қилинган. Газнинг бошланғич температураси T_0 га, босими P_o га тенг. Поршень қўйиб юборилганда у эркин ҳаракатланиб, газ цилиндрнинг ҳамма ҳажмини эгаллашига имкон беради. Шундан сўнг поршенга берилаётган босимни аста—секин орттириб, газ ҳажми дастлабки қийматига келтирилади. Бундай жараёнда газнинг ички энергияси ва энтропияси ўзгаришларини топинг.

436. Агар музнинг бошланғич температураси —40°С, буғнинг температураси 100°С бўлса, 30 *г* музнинг буғга айланишида энтропия ўзгариши ΔS ни аниқланг. Сув ва музнинг иссиқлик сиғимлари — ўзгармас, ҳамма жараёнлар атмосфера босимида содир бўлади, деб ҳисобланг. Музнинг солиштирма иссиқлик сиғими с = 0,5 *кал/(г×К)* га тенг.

IX. Реал газлар ва суюқликлар.

Бир моль газ учун Ван—дер—Ваальс тенгламаси:

$$\left(P+\frac{a}{V^2}\right)\left(V_0-b\right)=RT, \qquad (1)$$

бу ерда P—босим, V_0—бир моль газнинг ҳажми, a ва b — Ван—дер—Ваальс доимийлари, уларнинг қийматлари ҳар хил газлар учун турлича, T — мутлоқ температура, R—газ доимийси.

Газнинг ихтиёрий m массаси учун Ван—дер—Ваальс тенгламаси:

$$\left(r+\frac{m^2}{m^2}\frac{a}{V^2}\right)\left(V-\frac{m}{m}b\right)=\frac{m}{m}RT, \qquad (2)$$

бу ерда V—газнинг эгаллаган ҳажми μ—бир моль газнинг массаси.

Ван—дер—Ваальс тенгламасидаги a ва b доимийлар шу газнинг критик температураси $T_к$, критик босими $P_к$ ва критик ҳажми $V_к$ билан қуйидагича боғланган:

$$V_k=3b;$$

$$P_k=\frac{a}{27b^2}; \qquad (3)$$

$$T_k=\frac{8a}{27R\cdot b}$$

Реал газнинг ички энергияси:

$$U=\frac{m}{m}\left(C_{mn}T-\frac{a}{V}\right) \qquad (4)$$

бу ерда $C_{\mu\nu}$— газнинг ўзгармас ҳажмдаги моляр иссиқлик сиғими.

Сирт таранглик коэффициенти:

$$\sigma=\frac{F}{l}, \qquad (5)$$

бу ерда F— суюқлик сиртини ўраб турган l контурга таъсир этаётган сирт таранглик кучи.

Суюқлик сирт пардасининг юзани ΔS га орттириш учун сирт таранглик кучига қарши $\Delta A=\sigma\ \Delta S$ га тенг иш бажариш керак.

Суюқлик сиртининг эгрилиги туфайли юзага келувчи қўшимча босим Лаплас формуласидан аниқланади:

$$\Delta P=\sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right), \qquad (6)$$

бу ерда R_1 ва R_2 — суюқлик юзининг иккита ўзаро перпендикуляр кесимларининг эгрилик радиуслари .

Суюқликнинг капилляр найда кўтарилиш баландлиги:

$$h=\frac{2\sigma\cos\theta}{\rho gr}, \qquad (7)$$

бу ерда r — найча каналининг радиуси , ρ—суюқликнинг зичлиги , θ—чегаравий бурчак .

Эритманинг P осмотик босими ва T— мутлоқ температуранинг ўзаро боғланиши Вант—Гофф формуласи билан ифодаланади:

$$P=CRT, \qquad (8)$$

R — универсал газ доимийси, $C = \frac{m}{m\ V}$ — эритманинг бирлик ҳажмида эриган моддaнинг моллари сони (эритманинг моляр концентрацияси).

Масала ечиш намуналари

1— масала. Сиғими V = 8 *л* бўлган баллонда T = 300 K температурада массаси m = 0,3 *кг* бўлган кислород бор. Идиш сиғимининг қандай қисмини газ молекулаларининг хусусий ҳажми ташкил қилишини топилсин. Газ ички босими p′ нинг газнинг идиш деворларига босими p га нисбатан аниқлансин.

Ечилиши. Масаланинг биринчи саволига жавоб топиш учун

$$V'/V \qquad (1)$$

нисбатни топиш зарур, бунда V' — молекулаларнинг хусусий ҳажми.

Молекуланинг хусусий ҳажмини реал газнинг бир молида мавжуд бўлган молекулалар ҳажмининг тўртга кўпайтирилганига тенг бўлган Ван—дер—Ваальс доимийси b дан фойдаланиб топамиз. Ван—дер—Ваальс тенгламаси

$$(P+\nu^2 a/V^2)\,(V-\nu b) = \nu RT \qquad (2)$$

даги νb тузатма газдаги барча молекулалар ҳажмининг тўртланганини билдиради, яъни $\nu b = 4V'$. Бундан

$$V' = \nu b/4 \quad \text{ёки}$$

$$V' = mb/(4\mu),$$

бу ерда $\nu = m/\mu$ — модда миқдори; μ — моляр масса.

V' нинг топилган қийматини (1) ифодага қўйиб қуйидагини топамиз:

$$k = mb/(4mV), \qquad (3)$$

бу формула бўйича ҳисобласак,

$$k = 0{,}91\ \%.$$

Бинобарин, молекулаларнинг хусусий ҳажми идиш ҳажмининг 0,91 % ини ташкил қилади.

Масаланинг иккинчи саволига жавоб бериш учун

$$k_1 = p'/p$$

нисбатни топиш керак.

(2) тенгламадан кўринадики,

$$p' = \frac{\nu^2 a}{V^2} \quad \text{ёки} \quad p' = \left(\frac{m}{\mu}\right)^2 \frac{a}{V^2}, \qquad (4)$$

бу ерда *a* — бир моль учун Ван—дер—Ваальс доимийси.

(4) формула бўйича ҳисоблашларни бажарсак,

$$p' = 179\ кПа.$$

Газнинг идиш деворларига кўрсатаётган босими p ни (2) тенглама—дан топамиз:

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - n^2\frac{a}{V^2}.$$

Бу формула бўйича ҳисоблаб, қуйидагини оламиз:

$$p = 2{,}84 \bullet 10^6\ Па$$

p′ ва p ларнинг қийматларини (3) ифодага қўйиб, ҳисобласак,

$$K_1 = 6{,}3\%$$

Бинобарин, молекулаларнинг тортишиш кучлари натижасида вужудга келадиган газ босими газнинг идиш деворларига босимининг 6,3 % ини ташкил қилади.

2– масала. Модда миқдори ν = 1 *моль* бўлган карбонат ангидрид критик ҳолатда турибди. Газ изобарик қиздирилганда унинг V ҳажми k = 2 марта ошди. Агар критик температураси $T_к$ = 304 K бўлса, газ температурасининг ўзгариши ΔT аниқлансин.

Ечилиши. Масалани ечиш учун Ван–дер–Ваальс тенгламасининг келтирилган шаклидан, яъни реал газнинг босими p, моляр ҳажми V_m ва температураси T мос критик параметрлар билан

$$p = p / p_к;$$

$$w = V / V_к;$$

$$t = T / T_к$$

кўринишдаги муносабатлар каби тасвирланган шаклидан фойда–ланиш қулай. Бу тенгликлардан қуйидагиларни оламиз:

$$p = p \cdot p_к;$$

$$V = wV_к;$$

$$T = tT_к.$$

Бунга $p_к$, $V_к$ ва $T_к$ ларнинг Ван–дер–Ваальс доимийлари *a* ва *b* лар орқали ифодаларини қўйиб қуйидагиларни оламиз:

$$p = \frac{a}{27b^2}p;$$

$$V = 3bw;$$

$$T = \frac{8a}{27bR}t.$$

p, V ва T лар учун олинган ифодаларни оддий Ван–дер–Ваальс тенгламасига қўямиз

$$\left[\frac{a}{27b^2}p + \frac{a}{(3bw)^2}\right][3bw - b] = R\frac{8a}{27bR}t.$$

Бу ифодани *a*/(27b) га бўлиб, қуйидагини оламиз:

$$\left(p + 3/w^2\right)\cdot(3w - 1) = 8t.$$

Бу ифода Ван дер–Ваальс тенгламасининг келтирилган шаклидир. У газнинг хусусий хоссаларини ифодаловчи ҳеч қандай параметрларга эга эмас ва шунинг учун ҳам универсалдир.

Энди масаланинг саволига жавоб берайлик. Босим ўзгармай қолганлиги туфайли π = 1 шартга кўра газнинг моляр ҳажми икки марта ошди, яъни $V_2 = 2V_к$, бинобарин, w = 2. (I) тенгламадан келтирилган температура τ ни ифодалаймиз

$$t = \frac{1}{8}\left(p + \frac{3}{w^2}\right)(3w - 1).$$

Бу ерга π ва w ларнинг қийматларини қўйиб ҳисобласак,

$$\tau = 35/32.$$

Температура Т юқорида қайд қилингандек келтирилган τ ва критик $T_к$ температуралар билан $T = \tau T_к$ муносабат орқали боғланган. Шу формула бўйича ҳисоблаш ўтказсак,

$$T = 332\ К.$$

$$\Delta T = 28\ К$$

3–масала. Ҳавонинг температураси $t = 16^0C$, нисбий намлиги $\eta = 60\ \%$ ни ташкил қилади. Бўяш ишларини амалга ошириш учун намлик $\eta_б = 70\%$ дан ошмаслиги зарур бўлса температурани қанча Δt га камайишига йўл қўйиш мумкин? Ҳаводаги буғ миқдори ўзгармайди, деб ҳисобланг.

Ечилиши. $t = 16^0C$ да ҳавонинг ρ абсолют намлиги $h = \frac{r}{r_0}100\,\%$ ифодадан топилади: $r = \frac{h r_0}{100\,\%}$. Бу ерда $\rho_0 = 13.6 \cdot 10^{-3}$ *кг /м*^{3} шу температурадаги тўйинган буғ зичлиги. Ҳисоблаш ўтказиб $\rho = 8.16 \cdot 10^{-3}$ *кг /м*^{3} ни оламиз. Мазкур зичлик қайси температурада $\eta_б = 70\%$ нисбий намликни ташкил этишини аниқлаш керак:

$$h_б = \frac{r}{r_{об}} 100\,\%,$$

бу ерда $\rho_{об}$ ўша t_1 температурада ҳавони тўйинтирувчи буғнинг зичлиги. Бундан:

$$r_{об} = \frac{r \cdot 100\%}{h_б} - \frac{8{,}16 \cdot 10^{-3}\ кг/м^3 \cdot 100\%}{70\ \ \%} = 11{,}7 \cdot 10^{-3}\ \ кг/м^3.$$

Жадвалдан $\rho_{об}$ га тўғри келган температурани аниқлаймиз. $t_б = 13^0C$. Температура $\Delta t = t - t_0 = 3^0C$ га камайиши мумкин.

Масалалар

437. 14–2. 300°К температурали 1 *моль* аргон 1 *л* ҳажмни эгаллайди.
а) аргон идеал газ хоссаларига эга деб ҳисоблаб;
б) босимга доир Ван–дер–Ваальс тузатмасини эътиборга олиб, лекин ҳажмга доир тузатмани ташлаб юбориб;
в) ҳажмга доир тузатмани эътиборга олиб, лекин босимга доир тузатмани ташлаб юбориб;
г) ҳар икки Ван–дер–Ваальс тузатмасини эътиборга олиб, аргон босими ҳисоблаб чиқилсин.

438. Ван–дер–Ваальс формуласидан фойдаланиб, V = 20 *л* ҳажмли баллонга қамалган t =13°С температурали, m = 1,1 *кг* массали карбонат ангидрид босими ҳисоблаб чиқилсин. Натижа идеал газ босими билан солиштирилсин.

439. 100 *г/л* зичликка эга бўлган кислороднинг босими 70 *ат* бўлиши учун температура қандай бўлиши керак?

440. 20 *л* сиғимли баллонда 80 *моль* қандайдир газ жойлашган. 14°С да газ босими 90 *ат* га тенг; 63°С да газ босими 109 *ат* га тенг. Шу газ учун Ван–дер–Ваальс доимийларини ҳисоблаб чиқинг.

441. V = 10 *л* сиғимли идишда m = 0,25 *кг* массали азот бор. 1) Газнинг ички босими p_i ; 2) молекулаларнинг хусусий ҳажми V' аниқлансин.

442. Модда миқдори 1 *моль* дан иборат кислород T = 300 K температурада V = 0,5 *л* ҳажмни эгаллаган бўлса, у кўрсатадиган босим P аниқлансин. Олинган натижа Менделеев—Клапейрон формуласи бўйича ҳисобланган босим билан солиштирилсин.

443. V = 0,3 *л* сиғимли идишда T = 300 K температурада модда миқдори 1 *моль* бўлган карбонат ангидрид бор. Газнинг босими p: 1) Менделеев—Клапейрон формуласи бўйича; 2) Ван—дер—Ваальс тенгламаси бўйича аниқлансин.

444. Модда микдори 1 *моль* бўлган криптон T = 300 K температурада турибди. Босимни ҳисоблашда Ван—дер—Ваальс тенгламаси ўрнига Менделеев—Клапейрон тенгламасидан фойдалаиишда йўл қўйиладиган нисбий хатолик $\varepsilon = \Delta p / p$ аниқлансин. Ҳисоблашлар ҳажмнинг икки қиймати: I) $V_1 = 2$ *л*; 2) $V_2 = 0{,}2$ *л* учун бажарилсин.

445. Хона температурасида қалин деворли пўлат баллоннинг ичини ярмигача сувга тўлдирдилар. Шундан кейин баллонни герметик равишда маҳкамладилар ва T = 650 K температурагача қиздирдилар. Шу температурада баллондаги сув буғининг босими p аниқлансин.

446. Кислороднинг босими p = 7 *МПа*, зичлиги $\rho = 100$ *кг/м*^{3}. Кислороднинг температураси T топилсин.

447. T = 380 K температурада ҳажми: 1) 1000 *л*; 2) 10 *л*; 3) 2 *л* бўлган m = 1 *кг* массали сув буғларининг босими p аниқлансин.

448. Ван—дер—Ваальс тенгламасидаги *a* ва *b* доимийларнинг СИ системасидаги ўлчов бирликлари топилсин.

449. 2 *атм* босимда 820 *см*^{3} ҳажмдаги 2 *г* азотнинг температураси қандай бўлади? Газни: 1) идеал ва 2) реал деб қаралсин.

450. 28 *атм* босимда 90 *см*^{3} ҳажмдаги 3,5 *г* кислороднинг температураси қандай бўлади? Газни: 1) идеал ва 2) реал деб қаралсин.

451. 10^8 *Н/м*^{2} босимда 10 *г* гелий 100 *см*^{3} ҳажмни эгаллайди. Газни: 1) идеал ва 2) реал деб ҳисоблаб, унинг температураси топилсин.

452. 100°C температурада 1 *кмоль* карбонат ангидрид гази берилган. Газни: 1) идеал ва 2) реал ҳисоблаб, унинг босими топилсин. Масалани: а) $V_1 = 1$ *м*^{3} ва б) $V_2 = 0{,}05$ *м*^{3} ҳажмлар учун ечилсин.

453. V = 0,5 *м*^{3} ҳажмли ёпиқ идишда $3 \cdot 10^6$ *Н/м*^{2} босимда 0,6 *кмоль* карбонат ангидрид гази бор. Ван—дер—Ваальс тенгламасидан фойдаланиб, босимни икки марта орттириш учун температурани неча марта орттириш кераклиги топилсин.

454. t = 27°C температурада ва $p = 10^7$ *Н/м*^{2} босимда 1 *кмоль* кислород бор. Берилган шароитда кислородни реал газ деб ҳисоблаб, газнинг ҳажми топилсин.

455. t = 27°C ва $5 \cdot 10^6$ *Н/м*^{2} босимда 1 *кмоль* азот бор. Берилган шароитда азотни реал газ деб ҳисоблаб, газнинг ҳажми топилсин.

456. Кислород учун критик катталиклар $T_к$ ва $p_к$ ни маълум деб, кислород молекуласипииг эффектив диаметри топилсин.

457. Нормал шароитда 1 *киломоль* газ молекулаларининг ўзаро таъсир кучидан ҳосил бўлган босим топилсин. Бу газ учун критик температура ва критик босим мос равишда $T_к = 417$ K ва $p_к = 76$ *атм* га тенг.

458. Водород учун молекулаларининг ўзаро таъсир кучи жуда кичик бўлиб, молекулаларнинг хусусий ўлчами асосий ролни ўйнайди. 1) Бундай ярим идеал газнинг ҳолат тенгламаси ёзилсин. 2) Водород молекулаларинииг хусусий ўлчамини ҳисобга олмасдан, t = 0°C температурада ва $p = 2{,}8 \cdot 10^7$ *Н/м*^{2}

босимда бирор ҳажмдаги водород молекулаларининг сонини ҳисоблаганимизда йўл қўйиладиган хатолик топилсин.

459. 10 *л* ҳажмли идишда 27^oC температурада 0,25 *кг* азот бор. 1) Молекулаларнинг ўзаро таъсиридан ҳосил бўлган босим газ босимининг қанча қисмини ташкил қилади? 2) Молекулаларнинг хусусий ҳажми идиш ҳажмининг қанча қисмини ташкил қилади?

460. Сувнинг критик зичлиги топилсин.

461. Аргонниинг критик босими ва критик температураси топилсин.

462. Модда ҳолати критик ҳолатга яқинлашганда ўзгармас босимдаги иссиқлик сиғими чексиз ўса боради. Буни тушунтириб беринг.

463. Агар критик температура $T_к$ = 126 К ва босим $P_к$ = 3,39 *МПа* лар маълум бўлса, азот учун Ван—дер—Ваальс тенгламасидаги *a* ва *b* доимийлар ҳисоблансин.

464. 1) Кислороднинг; 2) сувнинг критик температураси $T_К$ ва критик босими $P_К$ ҳисоблансин.

465. Аргон учун критик температура $T_к$ = 151 К ва критик босим $p_к$ = 4,86 *МПа*. Шу берилганлар бўйича аргоннинг критик моляр ҳажми аниқлансин.

466. Мустаҳкам кварц колба зичлиги ρ = 626 *кг/м*^{3} бўлган суюқ пентан C_5H_{12} билан қисман тўлдирилади ва уни пентан устида фақат тўйинган буғ қоладиган қилиб маҳкамланади. Қиздиришда модданинг критик нуқтадан ўтишини кузатиш мумкин бўлиши учун колба ички ҳажмининг қандай ε қисмини пентан эгаллаши кераклиги аниқлансин. Ван-дер-Ваальс доимийси $b=14,5\cdot10^{-5}$ *м*^{3}*/моль*.

467. Критик ҳолатдаги азот молекулаларининг концентрацияси $n_К$ нормал шароитдагн азот молекулаларининг концентрацияси n_o дан неча марта катта?

468. 1) Массаси m_1 = 0,5 *г* бўлган кислороднинг ва 2) массаси m_2 = 1 *г* бўлган сувнинг критик ҳажми $V_К$ топилсин.

469. Агар ҳажми V ва босими p мос критик $V_К$ ва $p_к$ қийматлардан k = 3 марта ортиқ бўлса, азот оксиди қандай T температурада турибди? Азот оксидининг критик температураси $T_к$ = 180 К.

470. Бирон бир газнинг 0,5 *кмоли* V = 1 *м*^{3} ҳажмни эгаллайди. Газ V_2 = 1,2 *м*^{3} ҳажмгача кенгайганда, молекулаларнинг ўзаро таъсир кучига қарши A = 5800 *Ж* га тенг иш бажарилган. Бу газ учун Ван—дер—Ваальс тенгламасидаги *a* доимий топилсин.

471. 1) а) 31^0C ва б) 50^0C температурада карбонат ангидрид газини суюқ карбонат кислотага айлантириш учун, унга қандай босим бериш керак? 2) 1 *кг* суюқ карбонат кислота энг кўпи билан қандай ҳажмни эгаллайди? 3) Суюқ карбонат кислота тўйинган буғининг энг катта эластиклиги қандай?

472. Гелий учун критик катталиклар $T_К$ ва $p_К$ нинг қийматларини маълум деб ҳисоблаб, критик ҳолатдаги гелийнинг зичлиги топилсин.

473. t = - 200^0C температурада 1 *кмоль* гелий V = 0,237 *м*^{3} ҳажмни эгаллайди. Ван—дер—Ваальс тенгламасидаги келтирилган катталиклардан фойдаланиб, газнинг босими топилсин.

474. Агар газнинг ҳажми ва температураси бу катталикларнинг критик қийматидан икки марта катталиги маълум бўлса, газнинг босими критик босимдан неча марта катталиги топилсин.

475. $T_к$ = 126 К критик температурадаги модда миқдори 1 *моль* бўлган азотнинг ички энергинси U аниқлансин. Ҳисоблаш V ҳажмнинг қуйидаги тўртта қиймати учун бажарилсин: 1) 20 *л*; 2) 2 *л*; 3) 0,2 *л;* 4) $V_к$.

476. Нормал p_0 босим ва 300 К температурадаги массаси 132 *г* бўлган карбонат ангидрид газини: 1) идеал газ; 2) реал газ деб қараб, ички энергияси U топилсин.

477. Массаси m = 8 *г* бўлган кислород T = 300 K температурада V = 20 $см^3$ ҳажмни эгаллайди. Кислороднинг U ички энергияси аниқлансин.

478. Модда миқдори ν моль бўлган неоннинг хажми V_1 =1 *л* дан V_2 = 2 *л* гача изотермик равишда кенгайганда ички энергиясининг ўзгариши ΔU аниқлансин.

479. m = 0,1 *кг* массали карбонат ангидрид газининг ҳажми $V_1 = 10^3$ *л* дан то $V_2 = 10^4$ *л* гача ортди. Газнинг бу кенгайишида молекулалар ички ўзаро таъсир кучларининг иши А топилсин.

480. Сиғими V_1 = 1 *л* бўлган идишда m = 10 *г* азот сақланади. Агар азот бўшлиқда V_2 = 10 *л* ҳажмгача кенгайса, унинг температурасининг ўзгариши T аниқлансин.

481. Карбонат ангидрид газининг критик температураси 304 К. Тегишли босим ҳосил қилиб, уни 300 К температурада суюқ ҳолатга ўтказиш мумкин? 310 К температурада—чи?

482. Тўйинтирувчи сув буғининг температураси 100^0С, у бирор ҳажмни эгаллаб турибди. Дастлабки температурани сақлаган ҳолда буғнинг ҳажмнни икки марта камайтирсак, унинг босими қандай ўзгаради?

483. 16^0С температурада хонадаги нисбий намлик 65% ни ташкил қилади. Агар сув буғининг эластиклиги аввалгича колса, хавонинг температураси 4 К га пасайганда нисбий намлик қандай ўзгаради?

484. Кундузи 20^0С да ҳавонинг нисбий намлиги 60% бўлган. Агар тунда температура 8^0С гача пасайса, ҳар бир куб метр ҳаводан қанча сув шудринг кўринишида ажралиб чиқади?

485. Цилиндрда поршень остида 290 К температурада 0,4 *г* сув буғи бор. Бу буғ 40 *л* ҳажмни эгаллайди. Қандай йўллар билан буғни тўйинтириш мумкин?

486. 200^0С температурада тўйинган сув буғининг зичлиги 100^0С температурада тўйинган сув буғининг зичлигидан неча марта ортиқ?

487. Ёз кунида нисбий намлиги 75% ва температураси 30^0С бўлган 1 $м^3$ ҳаводаги сув буғининг оғирлиги қанча?

488. V = 1 $м^3$ ёпиқ ҳажмдаги ҳавонинг 20^0С температурада нисбий намлиги 60%. Бу ҳажмдаги буғнинг тўйиниши учун яна қанча сув буғланиши керак?

489. Температураси 18^0С ва нисбий намлиги 50% бўлган хонада металл чойнакка совуқ сув солииган. Сувнинг температураси қандай бўлганда чойнак терламай қолади?

490. 50^0С температурада 0,5 *г* сув буғи 10 *л* ҳажмни эгаллайди. 1) Бунда нисбий намлик қандай бўлади? 2) Агар ҳажмни икки марта изотермик камайтирилса, буғнинг қандай миқдори конденсацияланади?

491. 0^0С температурада симобнинг зичлиги 13,6 $г/см^3$ га тенглигини билган ҳолда, 300^0С температурадаги зичлиги топилсин. Симобниг ҳажм кенгайиш коэффициентини доимий ҳисоблаб, унииг берилган температурада ўртача қийматини $1{,}85\cdot10^{-4}$ $град^{-1}$ га тенг деб олинсин.

492. 0^0С температурада симоб билан лиммо—лим тўлатилган шиша идишнинг оғирлиги 10 *Н*. Бўш шиша идишнинг оғирлиги 1 *Н* га тенг. Шишанипг кенгайишини ҳисобга олмасдан, 100^0С температурада идишга

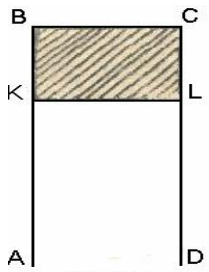
жойлашган симобнинг миқдори топилсин. Симобнинг ҳажм кенгайиш коэффициентини $1{,}8\cdot10^{-4}$ *град*$^{-1}$ га тенг деб олинсин.

493. Шиша идиш 0^0C температурада суюқ мой билан лиммо—лим тўлдирилгаи. Идиш 100^0C температурагача иситилганда, идишдаги мойнинг 6% и тошиб кетган. Шишанинг ҳажм кенгайиш коэффициентини $\beta = 3\cdot10^{-5}$ *град*$^{-1}$ га тенг деб олиб, мойнинг ҳажм кенгайиш коэффициенти $\beta_щ$ топилсин.

494. 1) Баландлиги h = 10 *мм*, ички диаметри d_1 = 50 *мм* ва ташқи диаметри d_2 = 52 *мм* бўлган горизонтал алюминий ҳалқани, сув сиртидан ажратиш учун, уни қандай куч билан юқорига тортиш керак? 2) Сирт таранглик кучи топилган кучнинг қанча қисмини ташкил қилади?

495. Ички диаметри 25 *мм* ва ташқи диаметри 26 *мм* ли ҳалқа деформация коэффициенти 10^{-3} *Н/мм*^{2} га тенг пружиначага осилган ва ҳалқа суюқлик сиртига тегиб туради. Суюқлик сирти аста—секин пастга туширила борилиб, пружина 5,3 *мм* га чўзилганда ҳалқа суюқликдан ажралган. Суюқликнинг сирт таранглик коэффициенти топилсин.

496. ABCD рамкадаги қўзғалувчан KL сим совун пардасини таранг тортиб туради (4—расм). 1) силжийдиган KL мис сим мувозанатда бўлиши учун, унинг диаметри қандай бўлиши керак? 2) Силжийдиган KL сим 1 *см* силжиганда $4{,}5\cdot10^{-5}$ *Ж* га тенг иш бажарилган бўлса, унинг *L* узунлиги топилсин.



4-расм

497. Ички диаметри 2 *мм* бўлган вертикал труба орқали идишдаги спирт томиб туради. Трубадан ҳар 1 *секунд*да бир томчидан тушиб туради деб, 10 *г* спиртнинг қанча вақтда тўкилиб бўлишини топинг. Томчининг узиладиган жойининг диаметрини трубанинг ички диаметрига тенг деб олинсин.

498. Ички диаметри d = 3 *мм* бўлган вертикал труба орқали идишдаги сув томиб туради. Сув $t_1 = 100^0$C дан $t_2 = 20^0$C гача совиганда, ҳар бир томчининг оғирлиги $\Delta P = 13{,}5\cdot10^{-5}$ *Н* га ўзгарган. 20^0C температурада сувнинг сирт таранглик коэффициентини билган ҳолда, 100°C температурадаги сувнинг сирт таранглик коэффициенти топилсин. Томчининг узиладиган жойининг диаметрини трубанинг ички диаметрига тенг деб олинсин.

499. Ички радиуси r = 1 *мм* бўлган вертикал найдан сув томади. Томчиниг узилиш вақтидаги радиуси топилсин. Томчини сферик деб ҳисоблаб, томчининг узиладиган жойи диаметрини найнинг диаметрига тенг деб олинсин.

500. Ҳар бирининг радиуси 1 *мм* бўлган иккита симоб томчисининг қўшилишидан ҳосил бўлган томчи неча градусга исийди?

501. Радиуси 3 *мм* бўлган симобнинг сферик томчисини бир хил иккита томчига ажратиш учун унинг сирт таранглик кучига қарши қанча иш бажариш керак?

502. Радиуси 1 *см* бўлган совун пуфагининг ҳажмини икки баробар орттириш учун, унинг сирт таранглик кучига қарши қанча иш бажариш керак? Совун эритмасиниг сирт таранглик коэффициентини $43\cdot10^{-3}$ *Н/м* га тенг деб олинсин.

503. Пуфлаб совун пуфагининг диаметрини 1 *см* дан 11 *см* гача орттириш учун қандай А ишни бажариш керак? Жараён изотермик деб ҳисоблансин.

504. Диаметри 2 *мкм* бўлган ҳаво пуфаги сувнинг айни сиртида турибди. Агар сув сирти устидаги ҳаво нормал шароитда турган бўлса, пуфакдаги ҳаво зичлиги р аниқлансин.

505. Агар совун пуфагининг диаметри 5 *мм* бўлса, пуфак ичидаги ҳаво босими p атмосфера босими p_o дан қанча катта?

506. Ўлчамлари 10 *см* x 10 *см* дан бўлган ўзаро параллел жойлашган иккита шиша пластинкалар орасидаги масофа l = 22 *мкм* бўлиб, ораларидаги бўшлиқ сув билан тўлдирилган бўлса, бу пластинкаларни бир—бирига сиқувчи F куч аниқлансин. Мениск ботиқ, диаметри эса пластинкалар орасидаги масофага тенг деб ҳисоблансин.

507. Глицерин капилляр найда H = 20 *мм* баландликка кўтарилди. Агар най каналининг диаметри 1 *мм* бўлса, глицериннинг сирт таранглиги аниқлансин.

508. Косачали симоб барометрнинг шиша найи каналининг диаметри 5 *мм*. Бундай барометр билан ҳисоблаганда атмосфера босимининг тўғри қийматини олиш учун қандай тузатма киритиш керак?

509. Ички диаметрлари 0,05 *см* ва 0,1 *см* бўлган иккита тик капилляр най пастки учлари билан суюқликка туширилган. Найлардаги суюқлик сатҳларининг фарқи Δh = 11,6 *мм*. Суюқликнинг зичлиги ρ = 0,8 *г/см*^{3}. Суюқликнинг сирт таранглик коэффициенти топилсин.

510. Диаметри 0,5 *мм* бўлган капилляр най сув билан тўлдирилган. Найнинг пастки учида сув томчи кўринишида осилиб қолди. Бу томчини радиуси r = 3 *мм* бўлган шарнинг бир қисми сифатида қабул қилиш мумкин. Найдаги сув устунининг баландлиги h топилсин.

511. Агар ораларидаги масофа 0,2 *мм* бўлса, ўзаро параллел бўлган иккита шиша пластинка орасидаги сув қандай баландликка кўтарилади?

512. Сув сиртидан 20 *см* чуқурликда бўлган 0,01 *мм* диаметрли ҳаво пуфакчасидаги ҳавонинг босими (мм сим. уст. ларида) аниқлансин. Ташқи босим 765 *мм сим. уст.* га тенг.

513. Ҳаво пуфаги сув сиртидан қандай чуқурликда бўлганда, ундаги ҳавонииг зичлиги 2 *кг/м*^{3} га тенг бўлади? Пуфакнинг диаметри 0,015 мм, температураси 20°C ва атмосфера босими 760 *мм сим. уст.* га тенг.

514. Сув сиртидан 5 *м* чуқурликда бўлган ҳаво пуфагидаги ҳавонинг зичлиги атмосфера остидаги зичлигидан (бирдай температурада) неча марта катта? Пуфакниг радиуси $5\cdot10^{-4}$ *мм*.

515. Сувли идишга диаметри 1 *мм* бўлган, икки учи очиқ капилляр пайча туширилган. Идишдаги ва капилляр найчадаги сув сатҳи баландликларининг фарқи 2,8 *см* га тенг. 1) капилляр найчадаги сув менискининг эгрилик радиуси нимага тенг? 2) Агар сув тўла ҳўлловчи бўлса, идишдаги ва капилляр найчадаги сув сатҳи баландликларининг фарқи нимага тенг бўлар эди?

516. Диаметрлари 1 *мм* ва 2 *мм* бўлган туташ капилляр найчадаги симоб сатҳи баландликларининг фарқи топилсин. Симоб тўла ҳўлламайди деб ҳисоблансин.

517. Ички диаметри 2 *мм* бўлгаи капилляр найча суюқликка туширилган. Капилляр найчада кўтарилган суюқликнинг оғирлиги $9\cdot10^{-4}$ *Н* бўлса, суюқликнинг сирт таранглик коэффициенти топилсии.

518. Барометрик найчанинг ички диаметри: 1) 5 *мм* ва 2) 10 *мм* га тенг бўлганда, атмосфера босими симоб устунининг баландлиги орқали ҳисобланганда 760 *мм сим. уст.* бўлса, қандай нисбий хатоликка йўл қўйилган бўлади? Симобни тўла ҳўлламайди деб ҳисоблансин.

519. Симоб солинган идишнинг тубида тешиги бўлиб, симоб устунининг баландлиги 3 *см* га тенг бўлганда идишдаги симоб оқиб кетмаслиги учун, тешикнинг диаметри энг кўпи билан қандай бўлиши керак?

520. Кесим юзи S = 30 *см*^{2} бўлган шиша идишнинг тубида 0,5 *мм* диаметрли тешик бўлиб, унга симоб қуйилади. Идишда қанча миқдорда симоб қолади?

521. Бир—биридан 0,25 *мм* масофада жойлашган иккита вертикал ясси—параллел шиша пластиикаларнинг орасига суюқлик қуйилган. Агар пластинкалар орасидаги суюқлик 3,1 *см* га кўтарилганлиги маълум бўлса, суюқликнинг зичлиги топилсин (σ = 30 *дина/см*). Суюқлик тўла ҳўлловчи деб ҳисоблансин.

522. Сувнинг сирт таранглигини аниқлаш учун капиллярдан ажралаётган томчилар тарозида тортилади ва томчииинғ ажралиш моментидаги бўйинчаси диаметри ўлчанади. Маълум бўлишича, 318 та томчининг массаси 5 *г* га тенг ва d = 0,7 *мм* экан. Сувнинг сирт таранглигини топинг.

523. Вертикал капилляр шиша найча тарози шайинга осилган ва тошлар ёрдамида мувозанатланган. Агар капилляр найча остига аста—секин сувли идишни капиллярнинг учи сув сиртига тегадиган қилиб яқинлаштирсак, тарози қандай ўзгаради?

524. Суюқлик пардаси U ички энергиясинииг ифодасини топинг.

525. Совун пардаси 10^{-3} *мм* қалинликка ва 300 К температурага эга. Пардани унинг юзи икки марта ортадиган қилиб адиабатик чўзгандаги температура пасайишини ҳисобланг. Совун эритмасининг сирт таранглиги температура 1 К кўтарилганда 0,15 *дина/см* камаяди.

526. Диаметри 1 *мкм* бўлган симоб томчисида 15°С температурадаги қўшимча Р босим нимага тенг? Симобнинг шу температурадаги сирт таранглиги 487 *дина/см*.

527. Агар совунли сувнинг сирт таранглиги 40 *дина/см* бўлса, диамстри 0,8 *см* бўлган совун пуфаги ичидаги қўшимча Р босим нимага тенг?

528. Чуқурлиги 2 *м* бўлган ҳовуз тагида диаметри 0,5 *мм* бўлган газ пуфакчалари ажралади. Шу пуфакчалар сув сиртига кўтарилганда диаметрлари нимага тенг бўлади? Сувнинг сирт таранглиги 73 *дина/см*.

529. Диаметри 1 *мм* бўлган капиллярда суюқлик 32,6 *мм* баландликка кўтарилади. Шу суюқликнинг сирт таранглиги топилсин. Суюқликнинг зичлиги 1 *г/см*^{3}. Менискнинг чегаравий бурчаги нолга тенг.

530. d_1 ва d_2 диаметрли иккита туташ капиллярлардаги суюқлик сатҳларининг фарқи қандай? Суюқликнинг сирт таранглиги σ га тенг. Менискларнинг чегаравий бурчаклари нолга тенг. Суюқликнинг зичлиги ρ.

531. Диаметрлари 0,1 *мм* ва 0,3 *мм* бўлган икки туташ капиллярдаги сувни 20 дан 70°С гача қиздирганда сатҳлар фарқи $h_1 - h_2$ қанчага ўзгаради? Сувнинг шу температуралардаги сирт таранглиги мос равишда 73 ва 64 *дина/см* га тенг.

532. Вертикал жойлаштирилган *l* узунликдаги ва *r* радиусли шиша капилляр юқори учидан кавшарланган. Агар унинг пастки учи сув юзига теккизилса, сув капиллярда қандай баландликка кўтарилади?

533. Иккита шиша пластинка вертикал ҳолда қисман сувга туширилган. Улар орасидаги масофа 0,5 *мм* бўлса, сув пластинкалар орасида қандай баландликка кўтарилади? Сув учун σ = 73 *дина/см*. Бу ҳолда чегаравий бурчак θ ни нолга тенг деб ҳисоблаш мумкин.

534. Суюқликка қисман туширилган иккита вертикал шиша пластинка ўзаро жуда кичик икки ёқли α бурчак ҳосил қилади. Суюқликнинг кўтарилиш баландлиги h ни икки ёқли бурчак қиррасидан ҳисобланган масофанинг функцияси сифатида топилсин.

535. Иккита ясси ва ўзаро параллел, сувда ҳўлланадиган шиша пластинкалар орасига 0,1 *г* массали сув томчиси киритилган. Чегаравий бурчак $\theta = 0°$. Агар пластинкалар бир—биридан 10^{-4} *см* масофада турган бўлса, улар ўртасидаги тортишиш кучи қандай? Сувнинг 18°С даги сирт таранглиги 73 *дина/см*.

536. Ички каналининг диаметри 0.5 *мм* бўлган (шиша) найни спиртга озгина ботирилган. Найга кирган спиртнинг Р оғирлиги қанча?

537. Ички диаметрлари 0,2 *мм* ва 0,3 *мм* бўлган икки шиша най ост томонидан резинка най воситасида туташтирилган ва сув билан тўлдирилган. қандай шароитда ҳар икки найлардаги сув сатҳи бир хил бўлади?

538. Ички канали диаметри 2 *мм* бўлган капилляр шиша найга 1,5 *мм* диаметрлн шиша таёқча тиқилган, бунда каналдаги таёқча атрофидаги бўшлиқ ҳамма жойда бир хил кенгликда бўлган. Каналда сувнинг кўтарилиш баландлиги аниқлансин.

539. Шиша капилляр найнинг ички канали диаметри 0,2 *мм*, узунлиги 20 *см* бўлиб, уни вертикал вазиятда сувга ботирилади. Найнинг устки учи кавшарланиб беркитилган. Капилляр най—ичидаги сув сатҳининг ташқаридаги сув сатҳига тенг бўлишлиги учун найнинг қанча *х* қисмини сувга ботириш керак? Ҳаво босими 750 *мм сим. уст*.

540. а) Ички канали диаметри 1,5 *мм* узунлиги 20 *см* бўлган шиша капилляр найни горизонтал вазиятда (ичидаги ҳавони ташқарига чиқариб юбормасдан) симобга ботирилади. Уни 10 *см* чуқурликкача туширилганда най ичидаги ҳаво устунининг узунлиги қанча бўлади? Ҳаво босими нормал босимга тенг.

б) Худди шу масалани 0,5 *см* чуқурликкача ботирилган ҳол учун ечилсин.

541. 27°С температурада 110 *г* бензолда эритилган 8 *г* нафталиннинг ($C_{10}H_8$) осмотик босими қанча? (Нафталин бензолда эриганда диссоциацияланмайди.)

542. 500 $см^3$ сувда 1,5 *г* натрий хлорид эритилган. Агар натрий хлориднинг ҳаммаси тўла диссоциацияланган деб ҳисобланилса, 0°С температурада эритмадаги осмотик босим қанча?

543. 100 $см^3$ сувда 0,4 *г* мис хлорид ($CuCl_3$) эритилганда ҳосил бўлган эритманикига тенг бўладиган осмотик босимли эритма олиш учун ўша температурада ва ўша ҳажмли сувда қанча миқдор натрий хлорид (NaCl) эритиш керак? Ҳар икки ҳолда ҳам эритилган модда тўла диссоциацияланади деб ҳисоблансин.

544. 10 *г* шакар ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 л сувда эритилганда, эритманинг осмотик босими $1{,}52 \cdot 10^5$ $Н/м^2$ га тенг. Эритма қандай температурада бўлган? Шакар молекулалари диссоциацияланмайди.

545. 87°С температурада эритманинг осмотик босими $1{,}65 \cdot 10^5$ $Н/м^2$ га тенг. Сувнинг қанча молекуласи эритмада эритилган модданинг битта молекуласига тўғри келади? Диссоциацияланиш бўлмайди.

546. 0,5 *л* сувда 2 *г* ош тузи эритилган. Ош тузи молекулаларинииг диссоциация даражаси 75% га тенг. 17°С температурада эритманинг осмотик босими топилсин.

547. 18°С температурада 2,5 *г* ош тузи 1 *л* сувда эритилган. Эритманинг осмотик босими $1{,}6 \cdot 10^5$ $Н/м^2$ га тенг. 1) Бу ҳолда ош тузи молекулаларинииг диссоциация даражаси қандай? 2} 1 $см^3$ эритмада эритилган модданинг қанча заррачаси бўлади?

548. 40 *г* шакар ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 *л* сувда эритилган. Эритманинг температураси 50^0С га тенг. Эритма устидаги тўйинган сув буғининг босими нимага тенг?

549. 30^0С температурада эритма устидаги тўйинган буғнинг босими 31,5 *мм сим. уст.* га тенг. 60°С температурада бу эритма устидаги тўйинган буғнинг эластиклиги топилсин.

550. Эритма устидаги тўйинган буғнинг эластиклиги соф сув тўйинган буғининг эластиклигидан 1,02 марта кичик. Эриган модданинг битта молекуласига сувнинг қанча молекуласи тўғри келади?

551. Учувчан бўлмаган моддадан 100 *г* олиб 1 *л* сувда эритилган. Эритманинг температураси 90^0С га, эритма устидаги тўйинган буғнинг босими 515,9 *мм сим. уст.* га тенг. Эритилган модданинг бир *киломол*и массаси аниқлансин.

X. Қаттиқ жисмлар.

Кристаллнинг моляр ҳажми:

$$V_m = \mu/\rho\ , \qquad (1)$$

бундаги μ — модданинг моляр ҳажми; ρ — кристаллнинг зичлиги.

Бир моль кристаллдаги элементар катакчалар сони:

$$Z_m = V_m/V, \qquad (2)$$

бундаги V — кристаллдаги элементар катакчанинг ҳажми.

Кубсимон панжаранинг параметри *a*:

$$a = \sqrt{\frac{nm}{rN_0}}\ , \qquad (3)$$

бунда n — элементар катакчага тўғри келувчи атомлар сони.

Кубсимон панжарадаги қўшни атомлар орасидаги масофа:

$D = \frac{a}{\sqrt{2}}$ - қирраси марказлашган панжара учун;

$D = \frac{\sqrt{3}a}{2}$ - ҳажмий марказлашган панжара учун.

Гук қонунига кўра бўйига чўзилиш (ёки сиқилиш) деформациясида стержен узунлигининг нисбий ўзгариши:

$$\frac{Dl}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}, \qquad (4)$$

бунда F - чўзувчи (сиқувчи) куч, S - стержен кўндаланг кесимининг юзи, E - эластиклик (Юнг) модули.

Бўйига узайганда стержен қалинлигининг нисбий ўзгариши:

$$\frac{Dd}{d} = b\,\frac{F}{S}, \qquad (5)$$

Бунда *b* - кўндаланг сиқилиш коэффициенти, *s = E/b* катталик Пуассон коэффициенти дейилади.

Иссиқлик ўтказувчанлик туфайли *Dt* вақтда кўчирилган иссиқлик миқдори қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q = -l\,\frac{DT}{Dx} \cdot DS \cdot Dt\,, \qquad (6)$$

бундаги $\frac{DT}{Dx}$ эса ΔS юзага тик йўналишдаги температура градиенти, λ- иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти.

Дюлонг—Пти қонуни. Бир хил атомлардан ташкил топган қаттиқ жисмларнинг моляр иссиқлик сиғими:

$$C_m = 3R, \qquad (7)$$

формула билан ифодаланади, R - универсал газ доимийси.

Кимёвий мураккаб (турли атомлардан ташкил топган) қаттиқ жисмларнинг моляр иссиқлик сиғими (Нейман-Копп қонуни):

$$C_m = n_0 \cdot 3R, \qquad (8)$$

бунда n_0 - бирикманинг кимёвий ифодасидаги зарраларнинг умумий сони.

Эйнштейннинг квант назариясига кўра қаттиқ жисмларнинг моляр иссиқлик сиғими:

$$C_m = 3R(Q_E / T)^2 \frac{exp(Q_E / T)}{(exp(Q_E / T) - 1)^2} \qquad (9)$$

бунда $\Theta_E = h\nu / k$ - Эйнштейннинг характеристик температураси, T - термодинамик температура, k - Больцман доимийси.

Дебай назарияси бўйича қаттиқ жисмларнинг моляр иссиқлик сиғими:

$$C_m = 3R\left[12(T / Q_D)^3 \int_0^{Q_D/T} \frac{x^3 dx}{exp(x) - 1} - \frac{3(Q_D / T)}{exp(Q_D / T) - 1}\right] \qquad (10)$$

бунда - $\Theta_D = h\nu_{max} / T$ Дебайнинг характеристик температураси.

Масала ечиш намуналари

1–масала Кальций кристаллининг панжара параметри *a* ва энг яқин қўшни атомлар орасидаги масофа *d* аниқлансин (қирраси марказлаштирилган кубсимон панжара). Кальций кристаллининг зичлиги $\rho = 1{,}55 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}.

Ечилиши. Кубсимон панжаранинг *a* параметри энг содда катакчанинг ҳажми билан $V = a^3$ муносабат орқали боғланган.

Бошқа томондан, энг содда катакчанинг ҳажми моляр ҳажмнинг бир моль кристаллдаги энг содда катакчалар сонига нисбатига тенг: $V = V_m / Z_m$. V учун келтирилган ифодаларнинг ўнг томонларини тенглаштириб, қуйидагини топамиз:

$$a^3 = V_m / Z_m. \qquad (1)$$

Кальцийнинг моляр ҳажми $V_m = \mu/\rho$, бунда ρ – кальцийнинг зичлиги; μ – унинг моляр массаси. Бир молдаги энг содда катакчалар сони

$$Z_m = N_a/n$$

бунда n – битта катакчага тўғри келувчи атомлар сони. Қирраси марказлашган кубсимон элементар ячейка учун n = 4.

V_m ва Z_m лар учун келтирилган формулаларни (1) формулага қўйиб қуйидагини оламиз

$$a^3 = n\mu/(\rho N_a).$$

Бундан

$$a = \sqrt{nm / (rN_a)} \qquad (2)$$

n = 4 лигини ҳисобга олиб n, μ, ρ ва N_a катталикларнинг қийматларини (2) формулага қўямиз ва *a* нинг қийматини ҳисоблаб топамиз:

$$a = 556 \text{ пм}.$$

Энг яқин қўшни атомлар орасидаги d масофа

$$d = a / \sqrt{2} \text{ га тенг.}$$

Бу ифодага *a* нинг олдин топилган қийматини қўйсак,

$$d = 393 \text{ пм}$$

2–масала. Агар иситиш: 1) $T_1 = \theta_D$; 2) $T_2 = 2$ К температуралардан бошланса, унда шу икки ҳол учун m = 20 *г* массали NaCl кристаллини $\Delta T = 2$ К га иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори ΔQ аниқлансин. NaCl учун Дебайнинг характеристик температураси $\theta_D = 320$ К га тенг деб қабул қилинсин.

Ечилиши. Жисмни T_1 температурадан T_2 гача иситиш учун берилиши керак бўлган ΔQ иссиқлик миқдори

$$DQ = \int_{T_1}^{T_2} CdT \qquad (1)$$

формула ёрдамида ҳисобланиши мумкин, бунда C — жисмнинг (тизимнинг) иссиқлик сиғими.

Жисмнинг иссиқлик сиғими моляр иссиклик сиғим C_m билан $C = (m/\mu)C_m$ муносабат орқали боғланган, бунда m — жисмнинг массаси; μ — моляр масса. C нинг бу ифодасини (1) формулага қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$DQ = (m/m)\int_{T_1}^{T_2} C_m dT. \qquad (2)$$

Умумий ҳолда C_m температуранинг функциясидир, шунинг учун уни интеграл белгисидан ташқарига чиқариш мумкин эмас. Лекин биринчи ҳолда иссиқлик сиғимининг ўзгаришини унинг T_1 температурадаги қийматига нисбатан инобатга олмаслик ва уни ΔT температураларнинг барча оралиғида ўзгармас ҳолда $C_m(T_1)$ га тенг деб қабул қилиш мумкин. Шуни назарда тутганда (2) формула

$$DQ = (m/m)C_m(T_1)DT \qquad (3)$$

кўринишни олади. Дебай назариясига мувофиқ моляр иссиқлик сиғими $C_m(T_1)$ қуйидаги формула билан ифодаланади

$$C_m(T_1) = 3R\left[12(T_1/q_D)^3 \int_0^{q_D/T} \frac{x^3dx}{exp(x)-1} - \frac{3(q_D/T)}{exp(q_D/T)-1}\right]$$

Биринчи ҳолда $T = \theta_D$ да интеграл

$$\int_0^{q_D/T} \frac{x^3dx}{e^x-1} = \int_0^1 \frac{x^3dx}{e^x-1} = 0{,}25$$

бўлади ва демак,

$$C_m = 2{,}87 \cdot R$$

C_m нинг бу қийматини (3) формулага қўйиб, қуйидагини оламиз

$$DQ = 2{,}87(m/m)RDT \qquad (4)$$

(4) формулага биноан ҳисоблаб, ΔQ ни топамиз:

$$DQ = 16{,}3 \quad Ж$$

Иккинчи ($T \ll \theta_D$) ҳолда ΔQ ни топиш Дебайнинг чегаравий қонунидан фойдаланиш мумкинлиги билан осонлашади. Унга биноан иссиқлик сиғими мутлоқ температуранинг учинчи даражасига пропорционалдир. Бу ҳолда иссиқлик сиғими температуранинг берилган оралиғида кескин ўзгаради ва уни (2) формулада интеграл белгисидан ташқарига чиқариш мумкин эмас.

Дебайнинг чегаравий қонунининг ифодаси

$$C_m = \frac{12p^4}{5} R\left(\frac{T}{q_D}\right)^3 \qquad (5)$$

дан фойдаланиб, қуйидагини оламиз:

$$\Delta Q = \frac{12p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}\int_{T_2}^{T_2+\Delta T} T^3 dT$$

Интеграллаш амалини бажарамиз:

$$DQ = \frac{12p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}\left[\frac{(T_2+DT)^4}{4} - \frac{T_2^4}{4}\right]$$

$T_2+\Delta T = 2T_2$ эканлигини ҳисобга олсак, (5) ифода қуйидаги кўринишни олади

$$DQ = \frac{3p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}15T_2^4 \quad ёки \quad DQ = 9p^4\frac{m}{m}R\frac{T_2^4}{q_D^3}$$

Охирги формулага π, m, μ, R, T ва θ_D катталикларнинг қийматла—рини қўйиб ва ҳисоблаб,

$$\Delta Q = 1{,}22\ мЖ.$$

натижани топамиз

Масалалар

552. Қуйидаги ҳолларда битта энг содда катакчага нечта атом тўғри келади: 1) кубсимон оддий панжара; 2) ҳажми марказлаштирилган ромбсимон панжара; 3) қирраси марказлаштирилган кубсимон панжара; 5) гексагонал сингонияли оддий панжара; 6) зич жойлашган гексонал тузилишли?

553. Қуйидаги ҳолларда V = 1 $м^3$ ҳажмли кристаллдаги энг содда катакчалар сони аниқлансин: 1) цезий хлорид (ҳажми марказлаштирилган кубсимон панжара); 2) мис (қирраси марказлаштирилган кубсимон панжара); 3) зич жойлашган гексогонал тузилишга эга кобальт.

554. Агар панжараси қирраси марказлаштирилган кубсимон эканлиги маълум бўлса, неон кристаллининг 20 К даги зичлиги ρ топилсин. Шу температурада панжара доимийси a = 0,452 *нм*.

555. Агар панжарасининг қирраси марказлаштирилган кубсимон сингонияли эканлиги ва энг яқин қўшни атомлари орасидаги d масофа 0,43 *нм* га тенглиги маълум бўлса, стронций кристаллининг зичлиги ρ топилсин.

556. Агар энг яқин қўшни атомлари орасидаги d масофа 0,304 *нм* га тенг бўлса, кристаллнинг нисбий атом массаси аниқлансин. Панжара ҳажми марказлаштирилган кубсимон сингонияли. Кристаллнинг зичлиги ρ = 534 $кг/м^3$.

557. Қуйидаги кристалларнинг панжара доимийси a ва энг яқин қўшни атомлари орасидаги d масофа топилсин: 1) алюминий (қирраси марказлаштирилган кубсимон панжара); 2) вольфрам (ҳажми марказлаштирилган кубсимон панжара).

558. Зич жойлашган гексогонал тузилишга эга бўлган магний кристалли панжарасининг доимийлари *a* ва c лар аниқлансин. Магний кристаллининг зичлиги $\rho = 1{,}74\cdot10^3$ $кг/м^3$.

559. Кубсимон панжарада саноқ тизимининг боши ва кристаллографик кўрсаткичлари: 1) [[242]]; 2) [[112]] бўлган тугун орқали ўтувчи тўғри чизиқлар йўналишларининг кўрсаткичлари ёзилсин.

560. Дюлонг ва Пти қонунидан фойдаланиб: 1) миснинг, 2) темирнинг, 3) алюминийнинг солиштирма иссиқлик сиғими топилсин.

561. Агар 0,025 *кГ* оғирликдаги металл шарчани 10°С даи 30°С гача иситиш учун 117 *Ж* иссиқлик сарфланган бўлса, Дюлонг ва Пти қонунидан фойдаланиб, шарча қандай материалдаи ясалганлиги топилсин.

562. Дюлонг ва Пти қонунидам фойдаланиб, алюминийнинг солиштирма иссиқлик сиғими платинанинг солиштирма иссиқлик сиғимидан неча марта кўплиги топилсин.

563. 400 *м/сек* тезлик билан қўрғошин ўқ деворга урилади ва унда тиқилиб қолади. Ўқ кинетик энергиясининг 10% уни иситишга сарф бўлади деб ҳисоблаб, ўқнинг неча градусга исиганлиги топилсин. Кўрғошиннинг солиштирма иссиқлик сиғими Дюлонг ва Пти қонунидан топилсин.

564. Классик назариядан фойдаланиб NaCl ва $CaCl_2$ крис—талларининг солиштирма иссиқлик сиғимлари С ҳисоблансин.

565. Иссиқлик сиғимининг классик назариясига биноан V = 1 $м^3$ ҳажмли алюминий бромид $AlBr_3$ кристаллининг иссиқлик сиғими С ҳисоблансин. Алюминий бромид кристаллининг зичлиги $\rho = 3{,}01\cdot10^3$ $кг/м^3$,

566. T_1 = 0°С дан T_2 = 200°С гача иситишда никель кристаллининг ички энергиясининг ўзгариши ΔU аниқлансин. кристаллнинг массаси m = 20 *г*. Иссиқлик сиғими С ҳисоблансин.

567. N = 10^{25} та классик уч ўлчовли эркли гармоник осциляторлардан ташкил топган тизимнинг энергияси U ва иссиқлик сиғими С аниқлансин. Температура Т = 300 К.

568. Агар кумуш учун характеристик температура θ_E = 165 К бўлса, Эйнштейннинг иссиқлик сиғими назариясига мувофиқ кумуш атомларининг тебраниш частотаси топилсин.

569. Эйнштейннинг иссиқлик сиғими ҳақидаги квант назариясидан фойдаланиб кристаллни Т = $\theta_E/2$ температурадан ΔТ = 2К гача қиздиришда унинг моляр ички энергиясининг ўзгариши ΔU_m ҳисоблансин.

570. Эйнштейннинг иссиқлик сиғими назариясидан фойдаланиб кристаллни нолдан то $T_1 = 0{,}1\theta_E$ гача қиздиришда унинг моляр ички энергиясининг ўзгариши ΔU_m аниқлансин. Мазкур кристалл учун Эйнштейннинг характеристик температураси 300 К деб қабул қилинсин.

571. Агар иссиқлик сиғими С ни қисоблашда Эйнштейн назарияси асосида олинадиган (Т = θ_E да) қиймат ўрнига Дюлонг ва Пти қонуни асосида олинадиган қийматдан фойдаланилса, у ҳолда йўл кўйиладиган нисбий хатолик аниқлансин.

572. Эйнштейн назариясига биноан рух кристаллининг нолинчи моляр энергияси U_{m0} ҳисоблансин. Рух учун характеристик температура θ_E =230 К.

573. Дебай назарияси бўйича мис кристалининг моляр нолинчи энергияси U_{m0} ҳисоблансин. Миснинг характеристик температураси θ_D = 320 К.

574. Дебай назарияси бўйича олтин кристалидаги хусусий тебранишларнинг максимал частотаси w_{max} аниқлансин. Характе—ристик температура θ_D =180 К.

575. Агар Т = 20 К да кумушнинг моляр иссиқлик сиғими С=1,7 Ж/моль-К эканлиги маълум бўлса, Дебайнинг максимал частотаси w_{max} ҳисоблансин.

576. Агар Дебай назарияси берадиган (Т = θ_D да) қиймат ўрнига, Дюлонг ва Пти қонуни берадиган қийматдан фойдаланилса, у ҳолда кристаллнинг иссиқлик сиғимини ҳисоблашда йўл қўйиладиган нисбий хатолик аниқлансин.

577. Умумий сирти S бўлган юпқа деворли берк металл идишга t_1 температурали суюқлик қуйилган. Агар суюқликнинг массаси m, солиштирма иссиқлик сиғими с, идиш ташқарисидаги ҳавонинг температураси t_3, металл—ҳаво чегарасида иссиқлик алмашиниш коэффициенти α бўлса, идишдаги суюқлик қанча τ вақтдан кейин t_2 температурагача совийди?

578. Иссиқликдан изоляцияловчи цилиндрик қатлам қопланган юпқа деворли r =1 см радиусли узун най орқали иссиқ сув оқади. Изоляцияловчи қатламнинг иссиқлик ўтказувчанлиги $6\cdot10^{-4}$ *кал/(с·см·^{0}С)*, най ва изоляцияловчи қатлам орасида иссиқлик алмашиниш коэффициенти α = $5\cdot10^{-4}$ кал/(с·см^2·°С). 1) Изоля—цияловчи қатлам ташқи радиуси R нинг қандай қийматида иссиқлик

йўқолиши максимал бўлади? 2) R нинг қандай қийматида иссиқлик йўқолиши изоляциясиз найдаги иссиқлик йўқолишидан икки баробар кам бўлади?

579. Мис (қалинлиги d_1= 9 *мм*) ва темир (қалинлиги d_2 =3 *мм*) пластинкалар устма—уст тахланган. Мис пластинканинг ташқи сирти t_1 = 50 ^{0}C ўзгармас температурада, темирнинг ташқи сирти эса t_1= 0^{0}C температурада сақланади. Пластинкалар бир—бирига тегиб турган сиртнинг t_x температураси топилсин. Пластинкаларнинг юзи қалинлигига нисбатан жуда катта.

580. Девор ташқи сиртининг температураси t_1 = - 20 ^{0}C, ички сиртинннг температураси эса t_2 = +20 ^{0}C ва унинг қалинлиги 40 *см*. Агар деворнинг ҳар 1 *м*^{2} юзидан 1 *соат*да 110 *ккал* иссиқлик ўтиб турса, девор материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти топилсин.

581. Полининг юзи 4 *м* х 5 *м* ва баландлиги 3 *м* бўлган хона тўртта ғишт девори орқали бир минутда қанча иссиқлик йўқотади? Хонанинг температураси t_1 = 15 ^{0}C, ташқи температура эса t_2 = -20 ^{0}C. Ғиштнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти 0,002 *кал/град·см·сек*, деворнинг қалинлиги 50 *см*. Пол ва шип орқали йўқотилган иссиқлик ҳисобга олинмасин.

582. Темир стерженнинг бир учи 100 ^{0}C температурада сақланади, иккинчи учи эса музга тегиб туради. Стерженнинг узунлиги 14 *см*, кўндаланг кесиминииг юзи эса 2 *см*^{2}. Стержень шундай изоляцияланганки, унинг айланма сирти орқали йўқолган иссиқлик миқдорини назарга олинмаса ҳам бўлади. I) Стержень бўйлаб иссиқликнинг оқиш тезлиги, 2) 40 *минут*да эриган музнинг миқдори топилсин.

583. Узунлиги 50 *см*, кўндаланг кесимининг юзи 10 *см*^{2} бўлган мис стержен учларидаги температураларнинг фарқи 15°C бўлса, 1 *с* да ундан ўтган иссиқлик миқдори топилсин. Иссиқликниииг исрофи назарга олинмасин.

584. Сув тўлдирилган 15 *см* диаметрли алюминий кастрюлька плитага қўйилган. Сув қайнаб ҳар минутда 300 *г* сув буғи ҳосил бўлади. Агар кастрюлька тубининг қалинлиги 2 *мм* бўлса, кастрюлька туби ташқи сиртининг температураси топилсин. Иссиқликнинг исрофи назарга олинмасин.

585. 9 *см* радиусли металл цилиндрик идишга 0 ^{0}C температурали муз тўлдирилган. Бу идиш 1 *см* қалинликдаги пўкак қатлам билан иссиқликдан изоляцияланган. Агар ташқи ҳавонинг температураси 25°C бўлса, идишдаги муз қанча вақтда эрийди? Иссиқлик фақат ўртача радиуси 9,5 *см* бўлган идишнинг ён сирти орқали кириб туради, деб ҳисоблансин.

586. Кўндаланг кесимининг юзи S = 10 *см*^{2} бўлган стерженни t_1 = 0 ^{0}C дан t_2 = 30 ^{0}C гача иситганда чўзилмаслиги учун, унинг учларига қандай куч қўйилиши керак?

587. 37 *см* қалинликдаги (бир ярим ғиштли) девор ташқи сиртининг температураси —15 ^{0}C, ички сиртиники эса 20 ^{0}C. Бир суткада 1 *м*^{2} девор орқали ўтадиган иссиқлик миқдори аниқлансин.

588. 6 *мм* қалинликдаги мис пластинка билан 4 *мм* қалинликдаги темир пластинка жипслаштирилган. Шу икки пластинка жипслашмаси каби иссиқлик ўтказувчи бир жинсли пластинканинг (10 *мм*) иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти аниқлансин.

589. Турли температурали (пасткиси совуқроқ) икки горизонтал девор орасидаги фазо газ билан тўлдирилган. Агар температуранинг кўтарилиши билан газнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ортса, унда бу ҳол температура тақсимотига қандай таъсир қилади?

590. Цилиндрик буғ трубаси иссиқлик ўтказмайдиган асбест изолятор қобиқ билан қопланган. Кобиқнинг ташқи сиртининг температураси t_1 = 50 ^{0}C,

буғ трубага ёпишиб турган қобиқнинг ички сиртининг температураси t_2 = 120 ^{0}C.

Буғ труба узунлиги *l* = 65 *м*; асбест қобиқнинг ташқи диаметри d_1 = 13 *см*, ички диаметри d_2 = 7 *см.*

Буғ трубанинг бир суткада ташқари фазога берадиган иссиқлик миқдори аниқлансин.

591. Агар темир печнинг температураси 200 ^{0}C, атрофидаги ҳавонинг температураси 10 ^{0}C бўлса, унда печнинг 0,5 $м^2$ сиртидан ҳавога бир соат ичида бериладиган иссиқлик миқдори аниқлансин.

592. 1 *мм* радиусли пўлат симга юк осилган. Сим 20 ^{0}C да қанча чўзилган бўлса, бу юк таъсирида ҳам шунча чўзилади. Юкнинг оғирлиги топилсин.

593. 150 ^{0}C температурали мис сим иккита кўзғалмас девор орасига таранг қилиб тортилган. Совиганда сим қандай температурада узилади? Гук қонуни симнинг узилишига қадар ўринли деб ҳисоблансин.

594. Бирор металлни 0 ^{0}C дан 500 ^{0}C гача иситилгаида, унинг зичлиги 1,027 марта камайган. Температураларнинг берилган интервалида бу металлнинг иссиқликдан чизикли узайиш коэффициентини ўзгармас хисоблаб, унииг қиймати топилсин.

595. Ҳар қандай температурада пўлат стержень мис стержендан 5 *см* узун бўлиши учун пўлат ва мис стерженларнинг 0 ^{0}C температурадаги узунликлари қандай бўлиши керак?

596. 0 ^{0}C температурадаги оғирлиги 10 *Н* бўлган мис бўлагини иситиш учун 33 *кал* иссиқлик сарф қилинган. Бунда унинг ҳажми неча марта кенгайган? Миснинг иссиқлик сиғими Дюлонг ва Пти қонунидан топилсин.

Жавоблар

1 . 18; 44; 58,4. **2.** 7,32 · 10^{26} *кг*; 9,7 · 10^{-26} *кг*. **3.** 7, 14 *моль*; 4,3 · 10^{24} та. **4.** 0,125 *моль*; 7,52 · 10^{24} та. **5.** 9,97 · 10^{-3} *моль*. **6.** $m = 28\frac{г}{моль}$; азот. **7.** 2,87 · 10^{20} та зарра. **8.** 0,464 *нм*. **9.** 35 *моль*; 30*моль*; 65 *моль*. **10.** 1,5 *л*. **11.** 1,2 · 10^{20}. **12.** $\frac{Na}{m}; \frac{Na \cdot r}{m}; \frac{Na \cdot m}{m}; \frac{Na \cdot rn}{m}$. **13.** 6,9 · 10^{10} *м*, 180 марта. **14.** 10^6 га яқин. **15.** 1,67 · 10^{-27} *кг*; 6,65 · 10^{-27} *кг*. **16.** 3,3 · 10^{22}. **17.** 7,5· 10^{19} *см* $^{-3}$. **18.** 2,4 *Н/м*^{2}. **19.** 3,56 · 10^{21} та. **20.** 4,5 · 10^{23}. **21.** 1,2 · 10^{20} *м*$^{-3}$. **22.** 2 *л*. **23.** 4,52 · 10^{28} *м*$^{-3}$. **24.** 0,25 *г*. **25.** 7,52 · 10^{25} *м*$^{-3}$. **26.** 32 *г/моль*, кислород. **27.** 6,02 · 10^{23} *моль*$^{-1}$. **28.** 20^4 та. **29.** 83 *г/м*^{3}. **30.** $r = 0{,}081$ *кг/м*^{3}. **31.** 1,6 · 10^{-14} *кг/м*^{3}. **32.** 2,42 · 10^{17} *м*$^{-3}$. **33.** 414 *Па*. **34.** 3,62 · 10^{25} та. **35.** 4,14 *кПа*. **36.** 7250 К; 1,5 · 10^{-19} *Ж*. **37.** 1,24 · 10^{-20} *Ж*; 2,48 · 10^{-20} *Ж*; 7,48 *МЖ* . **38.** 8,28 · 10^{-21} *Ж*; 16,6 · 10^{-20} *Ж* . **39.** 2,48 *Па*. **40.** 33 600 К. **41.** 0,11 *МПа*. **42.** 700 *м/с*. **43.** 2,3 · 10^{25} *м*$^{-3}$. **44.** 10^{-21} *Ж*. **45.** 7,2 · 10^{25}. **46.** 1,9 *км/с*; 6,2 · 10^{-21} *Ж*. **47.** 6 ·10^6 марта. **48.** 200 *м/с*.**49.** 5,6·10^{-23} *Н*ᵡ *с*. **50.** 3,3 · 10^{-23} *Н*ᵡ *с*. **51.** 2 ·10^{-23} *кг · м/с*. **52.** 500 *м/с*. **53.** 2,65. **54.** 5 ·10^5 *м/с*. **55.** 4,2 ·10^{18} *см*$^{-3}$. **56.** 5 ·10^3 *Н*ᵡ *м*^{2}. **57.** 1,44 · 10^7 марта. **58.** 6,3 · 10^{-24} *кг · м/с*. **59.** 230 *м/с*; 1,9 · 10^{23}; 5,0 *кг/м*^{3}. **60.** 0,74 *кг/м*^{3}. **61.** 1900 *м/с*. **62.** 1,88·10^{22}. **63.** W = 3,7·10^3 *Ж*; $W_{илг}$ = 8,3 ·10^4 *Ж*; $W_{айл}$ =1,5·10^3 *Ж* . **64.** 20,1 *кК*. **65.** 1,6 *кК*. **66.** 2 *мкм/с*. **67.** Гелий; 2,73 *км/с* ва 2,48·10^{-20} *Ж*; аргон; 864 *м/с* ва 2,48 ·10^{-20}*Ж*. **68.** 352 *мкм/с*. **69.** 1,37 ·10^7 марта. **70.** 0,92 *км/с*. **71.** 8 ·10^{16}. **72.** 4,2 · 10^{19}. **73.** а) $c_2^2 - c_1^2 = v^2$; $c_2^2 - c_1^2 = 0{,}6v^2$. **74.** а) 562 *м/с*; б) 25 *м/с*. **75.** -203^0 С. **76.** 169 *см/с*. **77.** 1,26 · 10^{-3} *эрг*. **78.** 3,5 *м/с*. **79.** 153^0 С. **80.** 2,1 марта камаяди. **81.** 273^0 С. **82.** -45^0 С. **83.** 1964 *л*. **84.** 200 *кг*. **85.** 1,5·10^7 *Па*. **86.** 6,4 *кг*. **87.** 2 *м*³. **88.** 12,3 *см*. **89.** 39º С. **90.** 5 *кг*. **91.** 7º С. **92.** 127ºС. **93.** 364^0 К. **94.** 3,1 ·10^{-2} *м*^{3}. **95.** 7,5 *кг*. **96.** 1200 *кг*. **97.** 1,1 марта. **99.** 0,4 *кмоль*. **100.** P_1=1,08 ·10^5 *Н/м*^{2} ; P_2=1,16 ·10^5 *Н/м*^{2}. **101.** 375 *мм.сим.уст*. **102.** 19 *атм*. **103.** 164,2 *мин*. **104.** 0,98 *литр*. **105**. 6·10^{27} та, 10^{17} *мин*. **106.** 72 *кг/см*^{2}. **107.** 150 *см*^{3}. **108.** 637. **109.** 1320 *г*. **110.** 1,48 *г*. **111.** 9,5 *л*. **112.** 390 *МЖ*. **113.** 100 *кПа*. **114.** 4 *моль*. **115.** 2,4 ·10^4. **116.** 1,7. **117.** 1,15 *кг/м*^{3}. **118.** $\sigma_{метан}$ = 0,5 $\sigma_{кислород}$. **119.** 17,4 *г*. **120.** а) Хажм катта бўлганда графикнинг оғмалик бурчаги кичик; б) масса катта бўлганда катта. **121.** $F = \frac{1}{n}PS = 32{,}3$ *кН* . **122.** 47,2 *кПа*. **123.** 350 К. **124.** 0,212 *кг*. **125.** 1,16 *МПа*. **126.** 2,56 ·10^{-2} *кг/м*^{3}. **127.** 8,3 *г*. **128.** $P_1^{/}$=0,76 *МПа*; $P_2^{/}$=1,12 *МПа*; $P = P_1^{/} + P_2^{/}$=1,88 *МПа*. **129.** 0,481 *кг/м*^{3}. **130.** μ = 28·10^{-3} *кг/моль*, демак газ азот экан. **131.** m = 6,87 *г*; m_1 = 4,81 *г*; m_2 = 2,06 *г*. **132.** 259 К. **133.** n = 0,788 *моль*; ν_1 = 67,5 м*моль*; ν_2 = 0,720 *моль*. **134.** 4 *кг*/к*моль*. **135.** 1400^0 К гача. **136.** V_1= 2,4·10^{-3} *м*^{3}; T_2 = 1170^0 К; ρ_1 = 4,14 *кг/м*^{3}; ρ_2 = 1*кг/м*^{3}. **137.** 6,4 · 10^5 *Н/м*^{2}. **138.** 4,15· ·10^5 *Н/м*^{2}. **139.** 4,6 *кг*/к*моль*; 11,7 ·10^{-3} *м*^{3}. **140.** 2,5 · 10^{-3} *кг*. **141.** 0,12. **142.** 1,25. **143.** ρ = 1,2 *кг/м*^{3}; P_1= 0,236 · 10^5 *Н/м*^{2}; P_2 = 0,764 · 10^5 *Н/м*^{2}. **144.** 1,98 *кг/м*^{3}. **145.** $\frac{1}{m} = \frac{M_1}{M}\frac{1}{m_1} + \frac{M_2}{M}\frac{1}{m_2} + \frac{M_3}{M}\frac{1}{m_3} + \ldots$. **146.** $r = \frac{760(M - m)}{V(H - h)}$. **147.** ≈105 *г*. **148.** $\frac{Ln(P_2/P_1)}{Ln[V/(V+u)]}$. **149.** $\Delta l = \frac{1}{2}\left[H + l + l^{|} - \sqrt{(H + l + l^{|})^2 - 4l^{|}H}\right]$. **150.** $\frac{H + l - \sqrt{H^2 + l^2}}{2}$. **151.** 1,15 *г*. **152.** 14 *мм.сув.уст*. **153.** ≈ 370 *с*. **154.** 210 *Ж* . **155.** 8,3 · 10^4 *Ж* . **156.** 750 *Ж* . **157.** 2,5·10^{-3} *кг*. **158.** 20000 К; 900 К . **159.** 5·10^4 *Ж* . **160.** N = 1,3·10^{10}; W = 0,133 *Ж*. **161.** 400 *кЖ* . **162.** 830 *Ж* . **163.** 210 *кЖ* . **164.** $\frac{C_r M}{R}$. **165.** 0,032 *кг/моль*; 650 *Ж*/(*кг* · К), 910 *Ж*/(*кг* · К). **166.** 715 *Ж*/(*кг* · К); 1,01 к*Ж*/(*кг* · К). **167.** 981 *Ж*/(*кг* · К). **168.** 526 *Ж*/(*кг* · К). **169.** 417 *Ж*/(*кг* · К). **170.** 204 *Ж*/(*кг* · К). **171.** 1,51; 11,51. **172.** 1,50. **173.** 1,42. **174.** 1,50. **175.** 1,4. **176.** 2 *кг*/к*моль*. **177.** 5.70. C_v =650 *Ж/кг · град*, C_p =910 *Ж/кг · град*. **178.** C_v =693 *Ж/кг* ᵡ *град*, C_p

=970 *Ж/кг · град*. **179.** 1,25; 1,31. **180.** 0,36. **181.** C_v =90 *Ж/кг · град*, C_p =139 *Ж/кг · град*. **182.** 21 %. **183.** 685 90 *Ж/кг · град*. **184.** 1,59. **185.** 60 *кг*. **186.** 1,47. **187.** 1400 *кал*. **188.** 22^0 С. **189.** 11,6 *кЖ/(кг* · К). **190.** 1,52. **191.** 0,517. **192.** Ўзгармас босимда. **193.** $\Delta\sigma$=7,9 · 10^3 *Ж*; W_1=1,8 · 10^3 *Ж*; W_2=76 · 10^3 *Ж* . **194.** 4,15 · 10^3 *Ж*. **195.** 700 *Ж*; 500 *Ж* . **196.** 1500 К; 12,4· 10^{-3} *м*^{3}; 12,4 *Ж*. **197.** ≈ 5 *кал/моль* ˣ *град*. **198.** 10^4 *Ж*. **199.** 208 *Ж*. **200.** 2500 К; 16,3 *кЖ* . **201.** i = 6. **202.** 6,25 *кЖ*; $4T_1$; $4P_1$. **203.** 102 *Ж*; 1,57 · 10^3 *м/с*; 1,33 · 10^5 *Н/м*^{2}; 0,164 *кг/м*^{3}; 4 · 10^2 *Ж*. **204.** 155 *Ж* . **205.** Натижа $U=C_vPV/R$ формуладан келиб чиқади. **206.** 0. **207.** -0,163 *кал/* ^{0}С. **208.** C_p-R/2 . **209.** 7,6 · 10^4 *Ж*. **210.** 15,5 *кЖ*. **211.** 1,25 *кЖ*. **212.** 510 *мм. сим.уст*. **213.** 2,3 *км*. **214.** 5.108. P_1=0,354 *атм*, P_2=0,713 *атм* Δp=0,36 *атм*. **215.** 1,7 марта. **216.** 12,8 *Н* ; 7,8 *Н*. **217.** 5,88 *км*. **218.** 885 *м*. **219.** 8,75*м;* 25,8 *м*. **220.** 6,5 *м*. **221.** 6,5·10^{23} . **222.** $e^{23.6}$ марта. **223.** 1,65. **224.** 5,97·10^{23} *моль*$^{-1}$. **225.** 4,14·10^{-21} *Н*. **226.** 1,18 *Па*. **227.** 5,5 *км*; 8 *км*. **228.** $n = n_o e^{mw^2r^2/(rhT)}$. **229.** 5.91. **230.** 518 *м/с*; 459 *м/с* . **231.** 0. **232.** 579 *м/с*; 628 *м/с*; 513 *м/с*. **233.** 83 К. **234.** 0,4%. **235.** 2,8%. **236.** 4,5%. **237.** 1,1. **238.** 1) 487 *м/с* ва 3,4%; 2) 731 *м/с* ва 2,2%. **239.** 70%. **240.** $v_B = \sqrt{2hT/m}$. **241.** $f(u)du = \frac{u}{\sqrt{p}} l^{-u^2} u^2 du$. **242.** 4,39 ·10^{-3}. **243.** 6,63 ·10^{-3}. **244.** $w = \frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{3}\left(\frac{2}{n}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^3$. **246.** 1,75·10^{16} *см*$^{-3}$; 1,01·10^{17} *см*$^{-3}$. **247.** 55^0С. **248.** 57 %; 43 %. **249.** 1,9·10^{22}. **250.** ω=7,52>10^{-7}. **251.** $v_{kb} = \sqrt{<v^2> = \sqrt{3kT/m}}$. **252.** 6.0·10^9. **253.** 1.8·10^{22}. **254.** 7730 К; 9600 К. **255.** 15700 К. **256.** $P_в = \sqrt{2mR} \cdot T$. **257.** 0. **258.** $<P_x> = \sqrt{mkT/(2p)}$. **259.** $P = \sqrt{mkT}$. **260.** $\bar{e}_0 = \frac{3}{2}kT$. **261.** 9,3·10^{-3}. **262.** 7,53·10^{-4}. **263.** 2,67·10^{-4}. **264.** 0,98. **265.** $\bar{v}_x^2 = \frac{kT}{m}; \frac{m\bar{v}_x^2}{2} = \frac{kT}{2}$. **266.** 342 *м/с*. **268.** $\bar{v} = p^{1/5}$. **269.** 6,4 *см*. **270.** 3,5 *мПа*. **271.** 1,55 *нм*. **272.** Мумкин, чунки эркин югуриш йўли (97 м) колбанинг диаметридан кўп марта катта. **273.** 0^0 дан 180^0 гача бўлиши мумкин. **274.** 4,6·10^{-2} *мм. сим.уст*. **275.** 6·10^{-3} *мм сим.уст*. **276.** 9,3·10^{-8} с. **277.** 4,9·10^5 *с*$^{-1}$. **278.** 3·10^{31}. **279.** 2,3 марта. **280.** $\frac{m}{\sqrt{2}pd^3N_0 r} 1{,}8 \cdot 10^{-6}$ м . **281.** 4,5·10^7 *с*$^{-1}$. **282.** 1,57·10^{21}. **283.** 3,38·10^{18}. **284.** 1) $\bar{z} \approx \sqrt{p}$; 2) $\bar{z} \sim p$. **285.** 9,6·10^9 *с*$^{-1}$. **286.** 3,5·10^{-10} *м*. **287.** 1,6·10^{-7} с. **288.** 1,6·10^{-9} *кг/м*^{3}; 3,3·10^{10} *см*$^{-3}$; 76,0 *м*. **289.** n≤·10^{13} *см*$^{-3}$. **290.** 1) 7·10^{-3} *мм сим.уст*.; 2)7·10^{-4} *мм сим.уст*.; 3) 7·10^{-5} *мм сим.уст*. **291.** P≤3·10^{-3} *мм сим. уст*. **292.** ρ≤9,4·10^{-7} *кг/м*^{3}. **293.** 9,2·10^7 *с*$^{-1}$. **294.** 7·10^{28}. **295.** 6·10^{-6} *см*; 12,5·10^{-6}; 9,4·10^{-7} *см*. **296.** $z = ns\bar{v}; l = 1/(ns)$. **297.** 2,5·10^{-8} *см*. **298.** ~6·10^{28} *с*$^{-1}$· *см*$^{-3}$. **299.** z~$T^{-1/2}$, λ~T. **300.** z~P, λ~P^{-1}. **301.** $z \approx p^{(g+1)/(2g)}, l \approx p^{-1/g}; g = C_p/C_v$ **302.** 0.91·10^{-4} *м*^{2}*/с*. **303.** 8,4·10^{-5} *м*^{2}*/с*. **304.** 2·10^{-6} *кг*. **305.** 1,84·10^{-7} *м*. **306.** 1,78·10^{-5} *Нˣс/м*^{2}. **307.** 1,48·10^{-5} *м*^{2}*/с* 1,85·10^{-5} *кг/м·с*. **308.** 1,8·10^{25} *м*$^{-3}$. **309.** 135 *нм*. **310.** 1) 90·10^{-5} *м*^{2}*/с*; 2) 0,061 *м*^{2}*/с*. **311.** 7,1. **312.** η=19,1 · 10^{-6} *Па* ˣ *с*; ν = 424,9 *м/с*. **313.** A = 9,66 · 10^{-8} *м*. **314.** -η = 18 *мкПа* ˣ *с*. **315.** 1) $h = \sqrt{T}$. **316.** 6·10^{-6} *см*. **317.** 1) 1,6 *кг/м*^{3}; 2) 8,35·10^{-8} *м*; 3) 440 *м/с*. **318.** 2,72 *м/с*. **319.** 0,045 *Н*. **320.** 1,8·10^5 *Н·с/м*^{2}. **321.** 1) 16,8 *Н*; 2) 3,17·10^{-4} *нм*. **322.** $M=\pi^2\eta nR^4$ (d=0,58 *Нм*). **323.** 11,3·10^{-3} *ккал/м·соат·град*. **324.** 2·10^{-5} *м/с*. **325.** 1,26 *Н/м*^{2} = 0,036 *мм.сим.уст*. **326.** 5,7 *ккал*. **327.** 78 *Ж*. **328.** 166 *Ж*. **329.** 400 *Ж*. **330.** 6,62 *кЖ*. **331.** 454 К. **332.** 1890 *кал*; 1350 *кал*; 540 *кал*. **333.** 8,1·10^3 *Ж*; 20,2·10^3 *Ж*; 28,3·10^3 *Ж*. **334.** 1000 *Ж*. **335.** 2500 *кЖ*; 830 *кЖ*; 3330 *кЖ*. **336.** 550 *Ж*. **337.** 57^0. **338.** 3,32·10^6 *Ж*; 2,49·10^6 8,31·10^5 *Ж*. **339.** 720 *Ж*. **340.** 2,72 марта. **341.** 5000 *м/с*. **342.** 2,2·10^5 *Ж*. **343.** 207^0 К. **344.** 416 *Ж*. **345.** 754 К; 674

Ж. **346.** 1,81 *кЖ*. **347.** 865^0 К. **348.** 5. **349.** 123^0 С; $52{,}8\cdot10^5$ *Н/м*^{2}. **350.** 1,4. **351.** 1,4. **352.** -2,69 $\cdot10^8$ *Ж* 2) $2{,}69\cdot10^6$ *Ж*. **353.** 2,37 *Ж*. **354.** а) 2,5 *л·ат*; -6,5 *л·ат*; -9 *л·ат*; б) 2,5 *л·ат*; 0,5 *л·ат*; -3 *л·ат*. **355.** 0,8; 1,5. **356.** 5*МЖ*; 0; 5 *МЖ*. **357.** 0,4 *МЖ*; 160 *МЖ*; 560 *МЖ*. **358.** 3,25 *МЖ*; 0,4 *МЖ*; 3,65 *МЖ*. **359.** 1) 0,6; 0,4; 2) 0,71; 0,29; 3) 0,75; 0,25. **360.** 0; 11,6 *кЖ*; 11,6*кЖ*. **361.** 20,8 *кЖ*. **362.** $V_2/V_1 = e^{a/(VRT)} = 2.23$. **363.** 67,2 *г*. **364.** 157 К; -21 *кЖ*. **365.** 1) $\Delta T=2M\Delta U/(imR)=616$ К; 2) $P_2=A_1(T_2-T_1)^{\gamma(\gamma-1)}=11.4$ *МПа*, бунда $T_1=T_2\Delta T$. **366.** 17,6. **367.** 1,15 марта. **368.** 1) 5 *атм*, 273 °К, -1140 *Ж;* 2) 9,5 *атм*, 520 °К, -1590 *Ж*. **369.** 1 атомли газ 1,2 марта кўпроқ исийди. **370.** 1) 1,55 *кЖ*; 0,92 *кЖ*; 0,63 *кЖ;* 2) 1,88 *кЖ*; 1,25 *кЖ*; 0,63 *кЖ*. **371.** 630 *Ж*; 1880 *Ж*. **372.** 18 %. **373.** $RT\ln P_1/P_2$. **374.** 2,44 *кЖ*. **375.** TV^{n-1} = const, PV^n = const, бунда $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$, 1) V=const; 2) P=const; 3) PV^γ =const; 4) V=const. **376.** 25 *Ж*. **377.** $2{,}27\cdot10^4$ *Ж*. **378.** 1,68. **379.** $C_p - C_v = R + V\left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_P - P\left(\frac{\partial C_p}{\partial P}\right)_V$. **380.** Ишчи жисм аралашмасининг. **381.** 23 %; 46 *кЖ*; 14 кВт. **382.** 30 %; 400 К. **383.** 42 %; 24 %. **384.** 760 *Вт*. **385.** 400 *Ж*. **386.** 300 К; 500; 1 кК; 605 К; 8,55 К. **387.** 7,61 *МЖ*; 7,21 *МЖ*; 0,4 *МЖ*; 5,3 %. **388.** 0,11. **389.** 26,8 %. **390.** 20 %; $1{,}26\cdot10^3$ *Ж*. **391.** 2,1 марта. **392.** 0,093; 360 *Ж*; 397 *кЖ*. **393.** $h_1 = \frac{1}{1-h_3}, h_2 = \frac{1+h_3}{h_3}$; η_1= 1,09; η_2=11,0; η_3=0,083. **394.** 4,94 *кг*. **395.** 1,88. **396.** 0,404. **397.** 1/4. **398.** 14 %; 1,16 марта. **399.** 0,74 *м*^{3}. **400.** Совуттгичнинг температурасини пасайтириш самаралироқ. **401.** 15 *кЖ*. **402.** 418 *Ж*. **403.** $h = (T_1 - T_2)\left(T_1 + \frac{c_p}{R}\frac{T_1 - T_2}{\ln(P_1/P_2)}\right)_P^{-1}$, бу ерда $T_1 \rangle T_2$, $P_1 \rangle P_2$. **404.** 2,6 *Ж/град*. **405.** -0,199 *Ж/град*. **406.** 3450 кал/*град*. **407.** а) $DS = mC\ln\frac{T}{T_1} + mC\ln\frac{T}{T_2} > 0;$ б) $DS = mC_v\ln\frac{p}{p_1} = mC_v\ln\frac{p}{p_2} > 0.$ **408.** 0,78 *кал/град*. **409.** 0,43 *кал/град*. **410.** 0,53 *кал/град*. **411.** 88 *Ж/град*. **412.** 63 *Ж/град*. **413.** 5,4 *Ж/град*. **414.** 71 *Ж/град*. **415.** 66,3 *Ж/град*. **416.** 38,1 *Ж/град*. **417.** 17,3 *Ж/град*. **418.** 2,9 *Ж/град*. **419.** 1,76 *Ж/град*; 2,46 *Ж/град*. **420.** 323 К; 0,3 *кЖ/К*. **421.** 7,2 *Ж/К*. **422.** 2,43 *Ж/К*. **423.** 291 *Ж/К*. **424.** 251 г; 610 *Ж/К*. **425.** 836 *Ж/К*. **426.** $\frac{m}{M}R$; (n=457). **427.** $8{,}5\cdot10^3$ *Ж/град*; $11{,}8\cdot10^3$ *Ж/град*. **428.** ызгармас босимда. **429.** ≈ 600 *Ж/град*. **430.** $\Delta S=k\ln W$. **431.** 1) 0; $R\ln(V_1/V_2)$; 2) $\Delta U = \frac{pV^g}{g-1}\left(\frac{1}{V_2^{g-1}} - \frac{1}{V_1^{g-1}}\right)$; 0. **432.** -625 *кал/моль*; ≈-4 *кал/(моль* ^{0}*С)*. **433.** $\Delta S = R\left(\frac{M_1}{m_1} + \frac{M_2}{m_2}\right)\ln 2$. **434.** 0,16 *кал/*^{0}*С*. **435.** $\Delta U = U - U_0 = \frac{M}{m}C_V T_0\left(2^{g-1}\right);\ \Delta S = S - S_0 = \frac{M}{m}C_V(g-1)\ln 2$. **436.** 63 *кал/*^{0}*С*. **437.** 24,2 *ат*; 23,3 *ат*; 25,4 *ат*; 24,1 *ат*. **438.** 25,6 *ат*; 29,5 *ат*. **439.** 21^0С; 0^0С. **440.** в=0,04 *л/моль*; а= 1,33 *л*^{2}*ат/моль*^{2}. **441.** 108 *кПА*; 86,2 *см*^{2}. **442.** 4,78 *МПа* (4,99 *МПа*). **443.** 8,31 *МПа*; 5,67 *МПа*. **444.** 0.0264; 0,272. **445.** 544 *МПа*. **446.** 287 К. **447.** 174 *кПА*; 3,94 *МПа*; 101 *МПа*. **448.** в=[*м*^{3}*кмоль*]; а=[*Н·м*^{2} */кмоль*]. **449.** 280 К; 280 К. **450.** 281 К; 289 К. **451.** 482 К; 204 К. **452.** 1) $3{,}09\cdot10^6$ *Н/м*^{2}; $6{,}18\cdot10^7$ *Н/М*^{2} ; 2) $2{,}87\cdot10^6$ *Н/м*^{2}; $2{,}73\cdot10^8$ *Н/м*^{2}. **453.** 1,85. **454.**

0,231 *м*^{3}. **455.** 0,49 *м*^{3}. **456.** 2,94·10^{-10} *м*. **457.** 1,31·10^3 *Н/м*^{2}. **458.** $P\left(V-\frac{M}{m}b\right)=\frac{M}{m}RT$; 33%. **459.** 4,95 %; 0,86 %. **460.** 0,2 *г/см*^{3}. **461.** ≈53 *ат*; 157 К. **463.** 0,136; 3,86. **464.** 1) 150К, 5 *МПа*; 2) 654 К, 22,6*МПа*. **465.** 96,8 *см*^{3}*/моль*. **466.** 0,264. **467.** 193 марта. **468.** 1,45 *см*^{3}. **469.** 600 К. **470.** 1,36·10^5 *Н*×*м*^{4}*/кмоль*^{2}. **471.** 1) 73 *атм*; суюлтириб былмайди; 2) 2,9·10^{-3} *м*^{3}; 3) 73 *атм*. **472.** 57 *кг/м*^{3}. **473.** 2,7·10^6 *Н/м*^{2}. **474.** 2,45. **475.** 2,61 *кЖ*; 2,55 *кЖ*; 1,94 *кЖ*; 1,45 *кЖ* . **476.** 22,4 *кЖ*; 9,2 *кЖ*. **477.** 1,13 *кЖ*. **478.** 104 *Ж*. **479.** 1,65 *Ж*. **480.** -20,9 К. **481.** мумкин; мумкин эмас. **482.** ызгармайди. **483.** 19% ортади. **484.** 2 *г*. **485.** 284 К гача изохор. совутиш; 23,3 *л* гача изотер. сиқиш; мос равишда температурани пасайтириб ҳажмни камайтириш. **486.** 12 марта. **487.** 225 *мН*. **488.** 6,9·10^{-3} *кг*. **489.** 7^0 С. **490.** 60,4 %; 86·10^{-6} *кг*. **491.** 1,29·10^4 *кг/м*^{3}. **492.** 0,884 *кг*. **493.** 7·10^{-4} *град*$^{-1}$. **494.** 63,5 ·10^{-3} *Н*; 37%. **495.** 32,4·10^{-3} *Н/м*. **496.** 1,2 *мм*; 5 *см*. **497.** 13 *мин*. **498.** 59·10^{-3} *Н/м*. **499.** 2,2·10^{-3} *м*. **500.** 1,65·10^{-4} *град*. **501.** 1,47·10^{-5} *Ж* . **502.** 6,4·10^{-5} *Ж* . **503.** 3 *мЖ* . **504.** 3,2 к*Н/м*^{3}. **505.** 62,5 *Па*. **506.** 7. **507.** 62 *мН/м*. **508.** -399 *Па*. **509.** 22 *мН/м*. **510.** $h=\frac{6\cdot d\cdot s-4r^3 r\cdot g}{3d\cdot r\cdot g}$. **511.** 7,3 *см* . **512.** 699 *мм. сим. уст*. **513.** 4,9 *мм*. **514.** 4,4 марта. **515.** 0,53 *мм*; 2,98 *см*. **516.** 7,5 *мм*. **517.** 0,07 *Н/м*. **518.** 0,4 %; 0,2%. **519.** 0,5 *мм*. **520.** 1,22 *кг*. **521.** 790 *кг/м*^{3}. **522.** ≈ 70 *дина/см*. **523.** Капилляр осилган тарози шайни пастга тушади. **524.** $U=(s-Td\,s/dT)F$. **525.** -0,02 К. **526.** 196 *Н/см*^{2}. **527.** 400 *дина/см*^{2} ≈ 0,29 *мм. сим. уст*. **528.** 5,23·10^{-3} *см*. **529.** ≈ 80 *дина/см*. **530.** $h_1-h_2=\frac{4s(d_2-d_1)}{r\cdot gd_1d_2}$. **531.** ≈24,2 *мм*. **532.** $h=\frac{2s\cdot l}{r\left(P+r\cdot gl+\frac{2s}{r}\right)}$. **533.** 3 *см*. **534.** $h\approx\frac{2s\cos q}{rga}\cdot\frac{1}{x}$. **535.** 1,46·10^4 *Н*. **536.** 3,5 *дина*. **537.** Ингичка найдаги ҳаво босими кенг найдагидан 3,5 *мм. сим. уст*. қадар катта бўлганда сув сатҳи бир хил бўлади. **538.** 5,7 *см*. **539.** 2,8 *см*. **540.** 17,8 *см*; 20 *см*. **541.** 12 *ат*. **542.** 2,3 *ат*. **543.** 0,26 *г*. **544.** 40^0 С. **545.** 1000 та. **546.** 2,9·10^5 *Н/м*^{2}. **547.** 55%; 4·10^{19} *см*$^{-3}$. **548.** 92,1 *мм. сим. уст*. **549.** 147,6 *мм. сим. уст*. **550.** 50 та. **551.** 92 *кг/кмоль*. **552.** 1;2;4;2;1;2. **553.** 1,44·10^{-28}; 2,1·10^{28}; 4,54·10^{28}. **554.** 1,46·10^3 *кг/м*^{3}. **555.** 2,6·10^3 *кг/м*^{3}. **556.** 69,5. **557.** 1) 0,404 *нм*; 0,286 *нм*; 2) 0,316 *нм*; 0,274 *нм*. **558.** 0,320 *нм*; 0,521 *нм*. **559.** [[121]]; [[112]]. **560.** 390 *Ж/Кг·град*; 450 *Ж/Кг·град*; 930 *Ж/Кг·град*. **561.** 107 *кг/кг·атом* – кумуш. **562.** 7,2 марта. **563.** 66^0 га. **564.** 825 *Ж*/(*кг* К); 675 *Ж*/(*кг* К). **565.** 1,12 *МЖ/К*. **566.** 1,70 *кЖ*. **567.** 124 *кЖ*. **568.** 3,44 *ГГц*. **569.** 36 *кЖ/моль*. **570.** 340 Ж/*моль*. **571.** 8,8 %. **572.** 2,87 *МЖ/моль*. **573.** 2,99 *МЖ* . **574.** 2,36·10^{-3} м$^{-1}$. **575.** 5,2·10^3. **576.** 4,83%. **577.** $t=\frac{me}{aS}\ln\frac{t_1-t_3}{t_2-t_3}$. **578.** 1,2 *см*; ≈10 *см*. **579.** 34,5^{0}С. **580.** 1,28 *вт/м*×*град*. **581.** 1,9·10^5 *Ж* . **582.** 2 *кал/с*; 60 *г*. **583.** 11,7 *Ж* . **584.** 106 ^{0} С. **585.** 28,4 со*ат* ытгач. **586.** 7,1·10^4 *Н*. **587.** 1360 *ккал*=5,69·10^6 *Ж* . **588.** 0,285 *кал/см*×*с*×*град*. **589.** Юқори девордаги температура градиенти кичик. **590.** 200000 *ккал*. **591.** 1030 *кал*. **592.** 149 *Н*. **593.** 20^0 С да. **594.** 1,8·10^{-5} *град*$^{-1}$. **595.** 16 *см*; 11*см*. **596.** 1,02 марта.

Иловалар.

1. Асосий физик катталиклар

2.

Физик катталиклар	Сон қиймати
Тортишиш кучи доимийси γ 1 *кмоль* даги молекулалар сони (Авагадро сони) N_0	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ *м*^{3}/*кг*×*с*^{2} $6{,}025 \cdot 10^{26}$ *кмоль*$^{-1}$
Нормал шароитларда 1 *кмоль* идеал газнинг ҳажми V_0	22,4 *м*^{3}
Универсал газ доимийси R	$8{,}31 \cdot 10^3$ *Ж/кмоль×К*
Больцман доимийси k	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ *Ж/К*
Фарадей сони F	$9{,}65 \cdot 10^7$ *к/кг -экв*
Стефан – Больцман доимийси σ	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$ *Вт/м*^{2}*×К*^{2}
Планк доимийси h	$6{,}625 \cdot 10^{-34}$ *Ж×с*
Электрон заряди e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ *К*
Электроннинг тинч ҳолатдаги массаси m_e	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$ *кг* = $5{,}49 \cdot 10^{-4}$ м. а. б. (масса атом бирлиги)
Протоннинг тинч ҳолатдаги массаси $m_п$	$1{,}672 \cdot 10^{-27}$ *кг* =1,00759 м. а. б.
Нейтроннинг тинч ҳолатдаги массаси $m_н$	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$ *кг* =1, 00899 м. а. б.
Ёруғликнинг вакуумда тарқалиш тезлиги	$3{,}00 \cdot 10^8$ *м/с*

2. Моддаларнинг зичлиги

(*г/см*^{3} *ёки* 10^3 *кН/м*^{3})

Қаттиқ жисмлар

(15 – 20^{0}С температурада)

Олмос	3,5	Никель	8.9
Алюминий	2,7	Қалайи	7,8
Бетон	2,2	Парафин	0,90
Вольфрам	19,3	Платина	21,5
Германий	5,4	Плексиглас (орг. шиша)	1,2
Графит	2,6	Полиэтилен	0,90
Қуруқ ёғоч:		Пенопласт	0,02—0,10
қайин	0,70	Пўкак	0,20
дуб	0,80	Қўрғошин	11,3
қарағай	0,50	Кумуш	10,5
Темир	7,9	Пўлат	7,8
Олтин	19,3	Шиша (бутилка	
Иридий	22,4	қилинадигани)	2,7
Ғишт	1,8	Шиша (дераза ойнаси)	2,5
Кремний	2,3	Текстолит	1,4
Жез	8,5	Уран – 235	18,0
Муз (0°С)	0,90	Чинни	2,3
Мис	8,9	Рух	7,1
Бўр	2,4	Чўян	7,0 – 7.8
Мармар	2,7	Эбонит	1,2
Никелин	8,5		

Суюқликлар

(15—20°С температурада)

Суюқ азот (−196°С)	0,79	Сут	1,03
Бензин	0,70	Нефть	0,80
Сув (4^0С)	1,00	Мис купорос эритмаси (тўйинган)	1,15
Денгиз суви	1,03	Симоб (0°С)	13,60
Суюқ ҳаво (−94^0 С)	0,86	Сульфат кислота	1,84
Глицерин	1,26	Скипидар	0,87
Керосин	0,80	Спирт	0,80
Суюқ кислород (−128^0С)	1,14	Эфир	0,71
Мазут	0,90		
Мой (ёқиладиган мой)	0,90		

Газлар

(0^0С ва 760 *мм сим. уст.* босимда)

Азот	0,00125	Метан	0,00071
Аммиак	0,00077	Неон	0,00090
Ацетилен	0,00117	Азон	0,00214
Водород	0,000090	Углерод (I) — оксиди	0,00125
Ҳаво	0,00129	Карбонат ангидрид	0,001ˆ
Гелнй	0,00018	Хлор	0,00321
Кислород	0,00143		

3. Атомлар ва молекулаларнинг диаметрлари

Гелий (He)	$2 \cdot 10^{-10}$ м
Водород (H_2)	$2{,}3 \cdot 10^{-10}$ м
Кислород (O_2)	$3 \cdot 10^{-10}$ м
Азот (N_2)	$3 \cdot 10^{-10}$ м

4. $T_к$ ва $p_к$ критик қийматлар

Модда	$T_к$, К	$p_к$, атм	$p_к \cdot 10^{-6}$, Н/м^2
Сув буғи .....……..…….....	647	217	22,0
Карбонат ангидрид …….....…	304	73	7,4
Кислород …….....	154	50	5,07
Аргон …….....….	151	48	4,87
Азот …….....……	126	33,6	3,4
Водород …….....…	33	12,8	1,3
Гелий ……..... .	5,2	2,25	0,23

5. Тўйинган сув буғининг босими (*мм.сим.уст.*) ва унинг зичлиги (*г/см^3 ёки 10^{-3} кг/м^3*)

Температура, ^{0}C	Босим	Зичлик	Температура, ^{0}C	Босим	Зичлик
−10	1,95	2,14	11	9,8	10,0
−9	2,13	2,33	12	10,5	10,7
−8	2,32	2,54	13	11,5	11,4
−7	2,53	2,76	14	12,0	12,1
−6	2,76	2,99	15	12,8	12,8
−5	3,01	3,24	16	13,6	13,6
−4	3.28	3,51	17	14,6	14,5
−3	3,57	3,81	18	15,3	15,4
−2	3,88	4,13	19	16,5	16,3
−1	4,22	4,47	20	17,5	17,3
0	4,58	4,84	21	18,7	18,3
1	4,9	5,2	22	19,8	19,4
2	5,3	5,6	23	21,1	20,6
3	5,7	6,0	24	22,4	21,8
4	6.1	6,4	25	23,8	23,0
5	6,6	6,8	26	25,2	24,4
6	7,0	7,3	27	26,7	25,8
7	7,5	7,8	28	28,4	27,2
8	8,0	8,3	29	30,0	28,7
9	8,6	8,8	30	31,8	30,3
10	9,2	9,4	100	760	600
			200	11628	

6. Баъзи бир суюқликларнинг хоссалари

Суюқлик	Зичлик, *кг/м^3*	20^{0}C даги солиштирма иссиқлик сиғими		20^{0}C даги сирт таранглик коэффициенти, *Н/м*
		Ж/кг·К	*кал/г·К*	
Бензол ……...	880	1720	0,41	0,03
Сув ……	1000	4190	1,0	0,073
Глицерин …….	1200	2430	0,58	0,064
Канакунжут мойи …….	900	1800	0,43	0,035
Керосин ……	800	2140	0,051	0,03
Симоб ……...	13600	138	0,033	0,5
Спирт ……	790	2510	0,6	0,02

7. Турли температураларда сувнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги

^{0}C	10^5 *Ж/кг*	*Ккал/кг*	^{0}C	10^5 *Ж/кг*	*Ккал/кг*
0	24,8	595	150	21,1	506
20	24,3	584	200	19,5	468
50	23,7	568	250	17,0	408
70	23,2	557	300	14,0	330
100	22,6	539	350	8,80	210

374	0	0

8. Баъзи бир қаттиқ жисмларнингг хоссалари

Модда	Зичлик, *кг/м*^{3}	Эриш температу–раси, ^0C	Солиштирма иссиқлик сиғими		Эриш солиштирма иссиқлиги, *Ж/кг*	Чизиқли иссиқлик кенгайиш коэффициенти, K^{-1}
			Ж/кг·град	*кал/г·К*		
Алюминий	2600	659	896	0,214	$3,22 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Темир	7900	1530	500	0,119	$2,72 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Жез	8400	900	386	0,092	-	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Муз	900	0	2100	0,5	$3,35 \cdot 10^5$	-
Мис	8600	1100	395	0,094	$1,76 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Қалайи	7200	232	230	0,055	$5,86 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Платина .	21400	1770	117	0,028	$1,13 \cdot 10^5$	$0,89 \cdot 10^{-5}$
Пўкак	200	-	2050	0,49	-	-
Қўрғошин	11300	327	126	0,030	$2,26 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Кумуш	10500	960	234	0,056	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Пўлат	7700	1300	460	0,11	-	$1,06 \cdot 10^{-5}$
Рух	7000	420	391	0,093	$1,17 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$

9. Баъзи бир қаттиқ жисмларнинг эластиклик хоссалари

Модда	Мустахкамлик чегараси	Юнг модули
	Н/м^2	*Н/м*^{2}
Алюминий	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Темир	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Мис	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Қўрғошин	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Кумуш	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Пўлат	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

10. Баъзи бир қаттиқ жисмларнинг l исссиқлик ўтказувчанлиги (*Вт/м·К*)

Алюминий	210
Намат	0,046
Темир	58,7
Эритилган кварц.....	1,37
Мис	390
қуруқ қум.....	0,325
Пўкак.....	0,050
Кумуш.....	460
Эбонит	0,174

11. Психрометрик жадвал

Қуруқ термометрнинг кўрсатиши, ^{0}С	қуруқ ва хўл термометрлар кўрсатишининг айирмаси (градусларда)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Нисбий намлик (%% ларда)											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	56	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	38	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

Адабиётлар.

1. Чертов А., Воробьев А. Физикадан масалалар тўплами. Тошкент: «Ўзбекистон», 1977 й.
2. Сахаров Д.И. Физика масалалари тўплами. Тошкент, «Ўқитувчи», 1965 й.
3. Волкенштейн Б.С. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Тошкент: «Ўқитувчи», 1969 й.
4. Гинзбург Б.Л., Левин Л.М., Сивухин Д. Б., Яковлев И.А. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Термодинамика ва молекуляр физика. Тошкент: «Ўқитувчи», 1985 й.

Мундарижа

Масала ечишда талабага қўйиладиган талаблар. 3
1. Модда миқдори. Молекулаларнинг концентрацияси, массалари ва ўлчамлари..... 4
2. Молекуляр—кинетик назариянинг асосий тенгламаси. Молекулаларнинг иссиқлик ҳаракат энергияси ва тез—ликлари..... 10
3. Идеал газ қонунлари. Идеал газ ҳолат тенгламаси..... 17
4. Идеал газларнинг ички энергияси ва иссиқлик сиғимлари..... 27
5. Больцман тақсимоти. Максвелл тақсимоти 34
6. Кўчиш ҳодисалари..... 43
7. Газ кенгайишида бажариладиган иш. Иссиқлик машиналари ……..... 53
8. Энтропия 64
9. Реал газлар ва суюқликлар 70
10. Қаттиқ жисмлар 84
11. Жавоблар 93
12. Иловалар 97
13. Адабиётлар 102
Мундарижа 103

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

MIRZO ULUG`BEK NOMIDAGI O`ZBEKISTON
MILLIY UNIVERSITETI

R.M. Abdullaev, A.G. Daminov, M.A. Karabaeva, X.M. Sattorov

MOLEKULYAR FIZIKADAN MASALALAR TO`PLAMI

Uslubiy qo`llanma

Toshkent – 2010

Uslubiy qo`llanma "Umumiy fizika" kursining "Molekulyar fizika" bo`limi bo`yicha masalalar to`plamini o`z ichiga olgan bo`lib, u universitetlarning fizika yo`nalishi bo`yicha tahsil olayotgan talabalari uchun mo`ljallangan. Qo`llanma mavjud namunaviy o`quv dasturlariga amal qilingan holda, turli davrlarda chop etilgan o`quv qo`llanmalar asosida tuzilgan.
Ushbu qo`llanmadan oliy o`quv yurtlarining fizika fani bo`yicha tahsil olayotgan barcha talabalar foydalanishi mumkin.

Методическая разработка содержит сборник задач по разделу «Молекулярная физика» курса Общей физики и предназначен для студентов университетов, обучающихся по специальности физика. Она составлена по требованиям существующих образцовых учебных программ, на основе методических разработок, выпушенных в различных периодах.

Настоящей учебной разработкой могут ползоваться все студенты высших учебных заведений, обучающиеся по специальности физика.

The methodical development contains the collection of tasks on section “Molecular physics" of a rate of General physics and is intended for the students of universities training on a specialty physics. She is made under the requirements of the existing exemplary educational programs, on the basis of methodical development issued in the various periods.
The present educational development all students of higher educational institutions training on a specialty physics can use.

Tuzuvchilar: R.M. Abdullaev, A.G`. Daminov, M.A. Karabaeva,
X.M. Sattorov

Mas`ul muharrir:

Muharrir:

Masala yechishda talabaga qo`yiladigan talablar.

1. Masala shartini diqqat bilan, ma`nosiga tushunib, unda ko`tarilgan muammo ma`no jihatidan qaysi fizik qonunlarga asoslanganligini aniqlash.

2. Daftarning chap tomon qismiga masala shartida berilgan hamda aniqlanishi lozim bo`lgan fizik kattaliklarni tegishli harflar bilan belgilab, son qiymatlari va o`lchov birliklari bilan yozish.

3. Barcha fizik kattaliklarni bir xil tizimdagi o`lchov birliklari (masalan, xalqaro o`lchov birliklari tizimi — SI) da keltirish.

4. Masala shartiga ko`ra rasm, chizma yoki grafik chizish.

5. Berilgan masalani yechish uchun kerak bo`lgan barcha sodda—lashtirish va taxminlarni aniq ko`z oldiga keltirish. Ular qisman masala shartida keltirilgan bo`lishi mumkin, qolgan qismi esa yechimda albatta izohlanishi kerak.

6. Masalani umumiy holda yechish, ya`ni izlanayotgan fizik kat—talikni masala shartida berilgan kattaliklar orqali ifodalovchi formula shaklidagi javobni topish.

7. Formulaning to`g`riligini tekshirib ko`rish. Buning uchun formulaning o`ng tomoniga kirgan barcha kattaliklarni ularning o`lchov birliklari bilan almashtirib, izlanayotgan kattalik o`lchov birligi bilan bir xil bo`lish — bo`lmasligini aniqlash. O`lchov birliklarining birday emasligi masala noto`g`ri yechilganligini ko`rsatadi.

Agar masalaga ko`rsatkichli funksiya kirgan bo`lsa, unda ko`r—satkichning o`lchov birligisiz ekanligiga, ya`ni o`lchamsiz kattalik ekanligiga ishonch hosil qilish.

8. Ishchi formula va berilgan son qiymatlar asosida hisoblashga kirishish.

9. Javobni birliklari bilan yozish.

I. Modda miqdori

Jismning (tizimning) modda miqdori ν:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_0} \qquad (1)$$

bu yerda m – modda massasi, m – moddaning molyar massasi, N_A – Avogadro doimiysi; N – jismni tashkil qiluvchi zarralar (molekulalar, atomlar) soni.

Jismning nisbiy molekulyar massasi:

$$M_n = \sum_i n_i \cdot A_i ; \qquad (2)$$

bu yerda n_i – modda molekulasining tarkibiga kiruvchi i – kimyoviy elementning atomlari soni; A_i – shu elementning nisbiy atom massasi.

Moddaning molyar massasi μ bilan nisbiy molekulyar massasi M_n orasidagi bog`lanish:

$$m = M_n \cdot 10^{-3} \ \frac{kg}{mol} \qquad (3)$$

Gazlar aralashmasining modda miqdori:

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \nu_{...} + \nu_i + \ldots + \nu_n \qquad (4)$$

bu yerda ν_i – aralashma i – tarkibiy qismining modda miqdori.

Bir jinsli tizim zarralarining konsentrasiyasi n:

$$n = \frac{N}{V}, \qquad (5)$$

bu yerda V – tizimning hajmi

Masala yechish namunalari

1–masala. Sement olishda ishlatiluvchi modda kalsiy sulfatning ($CaSO_4$) molyar massasi, bitta molekulasining massasi, 1*kg* $CaSO_4$ ning modda miqdori va undagi molekulalar soni topilsin.

Yechilishi. Kimyoviy elementlar davriy sistemasiga ko`ra Ca, S, O elementlarining nisbiy molekulyar massalari mos ravishda 40, 32 va 16 ga teng. Shu sababli $CaSO_4$ molekulasining nisbiy va molyar massasi:

$$M_н = 40 + 32 + 4 \cdot 16 \ ; \mu = 136 \ 10^{-3} \ kg/mol \ ,$$

Bitta molekulasining massasi:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_0} = \frac{136 \cdot 10^{-3} \ kg/mol}{6{,}02 \cdot 10^{23} \ 1/mol} = 22{,}6 \cdot 10^{-26} kg$$

Modda miqdori: $\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{1 \ kg}{0{,}136 \ kg/mol} \approx 7{,}4 \ mol$.

7,3 *mol* modda miqdoridagi barcha molekulalar soni:

$$N = \nu N_A = 7{,}4 mol \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol} \approx 4{,}4 \cdot 10^{24} ta$$

2–masala. Temperatura ortib borishi bilan molekulalarning o`zaro to`qnashuvlarda atomlarga parchalanish ehtimolligi ortib boradi. Agar T=600K

temperaturada azot gazining dissotsiasiya darajasi $\alpha = 0,4$ bo`lsa, uning m=56 *g* dagi barcha zarralari soni nimaga teng bo`ladi?

Yechilishi. Azotning faqat molekulalardan tashkil topgan holatdagi modda miqdori:

$$\nu = \frac{m}{m} = \frac{56g}{28\ g/mol} = 2\ mol$$

Azotning parchalanishi natijasida hosil bo`lgan va uning atomlaridan tashkil topgan qismining modda miqdori $\nu_a = \alpha\nu$ bo`ladi, uning molekulyar holatda qolgan qismi modda miqdori esa

$$\nu_M = \nu - \nu_a = (1-\alpha)\nu$$

ifodadan topilishi mumkin.

Bitta molekula ikkita atomga ajralishini e`tiborga oladigan bo`lsak, barcha zarrachalar soni quyidagicha ifodalanishini topish mumkin:

$$N = (1-\alpha)\nu N_o + 2\alpha\nu N_o = (1+\alpha)\nu N_o,$$

bunga α, ν va N_o larning qiymatlarini qo`yib N ni hisoblab topamiz:

$$N = (1+0,4)2\ mol \cdot 6,02 \cdot 10^{23}\ 1/mol = 1,69 \cdot 10^{24}\ \text{ta}$$

3– masala. m_1 = 25 *g* massali kislorod va m_2 = 75 *g* massali azot aralashmasining molyar massasi μ_a topilsin.

Yechilishi. Aralashmaning molyar massasi μ_a aralashma massasi m_{ar} ning aralashmadagi modda miqdori ν_{ar} ga nisbatiga teng, ya`ni

$$\mu_a = \frac{m_{ar}}{v_{ar}}$$

Aralashmaning massasi aralashmaning tashkil etuvchilari massalari yig`indisiga teng: $m_{ar} = m_1 + m_2$

Aralashmaning modda miqdori aralashmaning tashkil etuvchilari modda miqdorlarining yig`indisiga teng

$$\nu_{ar} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}$$

μ_a va ν_{ar} larning ifodalarini (1) formulaga qo`yib, quyidagini olamiz:

$$m_a = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{m_1} + \frac{m_2}{m_2}}$$

1– masalada foydalanilgan usuldan foydalanib kislorodning μ_1 va azotning μ_2 molyar massalarini topamiz:

$$\mu_1 = 32 \cdot 10^{-3}\ kg/mol,\ \mu_2 = 28 \cdot 10^{-3}\ kg/mol.$$

Kattaliklarning qiymatlarini (2) ga qo`yamiz va hisoblaymiz

$$\mu_{ap} = \frac{25\cdot10^{-3} + 75\cdot10^{-3}}{25\cdot10^{-3} / \left(32\cdot10^{-3}\right) + 75\cdot10^{-3} / \left(28\cdot10^{-3}\right)} kg/mol = 28{,}9\cdot10^{-3} kg/mol$$

4– masala. 1) t = 4^0 C temperaturada V = 1 mm^3 hajmni egal–lovchi suv molekulalarining soni N; 2) suv molekulasining massasi m_1; 3) molekulalar bir–biriga tegib turuvchi sharchalar shakliga ega, deb hisoblab, suv molekulasining diametri d aniqlansin.

Yechilishi.1). Biror m massali jismdagi molekulalar soni N Avogadro doimiysi N_A ning modda miqdori ν ga ko`paytmasiga teng:

$N=N_A\nu$, ν = m/μ ekanligidan (bunda μ – molyar massa), $N=(m/\mu)N_A$ formuladagi massani modda zichligi *r* ni uning hajmi V ga ko`paytmasi sifatida ifodalab, quyidagini olamiz:

$$N = \left(\frac{rV}{m}\right)N_A \qquad (1)$$

Suvning molyar massasidan tashqari (1) ga kiruvchi barcha kattaliklar ma`lum: ρ = $1\cdot10^3$ kg/m^3, V = 1 mm^3 = $1\cdot10^{-9}$ m^3, $N_A = 6{,}02\cdot\cdot10^{23}$ mol^{-1}.

Suvning kimyoviy formulasi (H_2O) ni bilgan holda, suvning molyar massasini topamiz (1–masalaga qarang):

$$\mu = M_n k = (2\cdot1 + 16)\cdot10^{-3}\ kg/mol = 18\cdot10^{-3}\ kg/mol.$$

Kattaliklarning qiymatlarini (1)ga qo`yamiz va hisoblash o`tkazamiz:

$$N=1\cdot10^3\cdot10^{-9} / (18\cdot10^{-3}) / 6{,}02\cdot10^{23} \text{ ta molekula} = 3{,}34\cdot10^{19} \text{ ta molekula.}$$

2). Suvning bitta molekulasining massasini uning molyar massasini Avogadro doimiysiga bo`lib topamiz: $m_1 = \mu/N_A$. Shu formulaga binoan hisoblashlarni bajarsak,

$$m_1 = \frac{18\cdot10^{-3}}{6{,}02\cdot10^{23}} kg = 2{,}29\cdot10^{-26} kg$$

3). Molekulalar bir–biriga jips bo`lib turibdi, deb hisoblaymiz. Unda d diametrli har bir molekulaga $V=d^3$ hajm (kub hajmli katakcha) mos keladi. Bundan

$$d = \sqrt[3]{V_1}. \qquad (1)$$

V_1 hajmni moddaning molyar hajmi V_m ni bir moldagi molekulalar soniga, ya`ni $N_A$ – Avogadro doimiysiga bo`lib topamiz: $V_1 = V_m / N_A$. Molyar hajm molyar massaning modda zichligiga nisbatiga teng, ya`ni $V_m = V_1 = V_m / N_A$ μ/ρ . Shuning uchun $V_1 = \mu / (\rho N_o)$ deb yozishimiz mumkin. $V_1$ uchun hosil qilingan ifodani (1) formulaga qo`ysak,

$$d = \sqrt[3]{\frac{m}{(rN_o)}} \qquad (2)$$

kelib chiqadi (2) ifodaning o`ng tomoni uzunlik birligini berishini tekshiramiz:

$$[d] = \left\{\frac{[m]}{[r][N_i]}\right\}^{1/3} = \left\{\frac{kg/mol}{\left(kg/m^3\right)\left(1/mol\right)}\right\}^{1/3} = m$$

Endi kattaliklarning qiymatlarini (2) formulaga qo`yamiz va hisoblash o`tkazamiz:

$$d = 3{,}11\cdot10^{-10}\ m = 311\ pm.$$

Masalalar.

1. 1) suvning; 2) karbonat angidrid CO_2 ning; 3) osh tuzi NaCl ning nisbiy molekulyar massasi M_n aniqlansin.

2. 1) karbonat angidrid; 2) osh tuzi molekulalarining massasi m_1 aniq-lansin.

3. Massasi m = 0,2 *kg* bo`lgan azotning modda miqdori va molekulalari soni N aniqlansin.

4. Sig`imi V=3 *l* bo`lgan idishda massasi m = 4 *g* bo`lgan kislorod bor. Gazning modda miqdori va molekulalar soni N aniqlansin.

5. Agar zichligi $\rho = 6{,}65\ 10^{-3}$ kg/m^3 bo`lsa, sig`imi V = 3 *l* bo`lgan idishni to`ldirib turgan vodorodning modda miqdori aniqlansin.

6. Sig`imi V = 5 *l* bo`lgan idishda modda miqdori ν = 0,2 *mol* bo`lgan bir jinsli gaz bor. Agar gazning zichligi $\rho$ =1,12 $kg/m^3$ bo`lsa, u qanday gaz ekanligi aniqlansin.

7. m = 10 *g* massali azotning uchdan bir qismi atomlarga parchalandi. Gazdagi barcha zarralarning soni N aniqlansin.

8. Suyuqlik molekulalarini bir—biriga tegib turuvchi sharchalar sifatida qarab, uglerod sulfid CS_2 molekulalari diametri kattaligining tartibi baholansin. Shu farazlarda simob atomi diametri kattaligining tartibi baholansin. Suyuqliklarning zichliklari ma`lum deb hisoblansin.

9. Sig`imi V=1,12 *l* bo`lgan idishda normal sharoitda azot bor. Muayyan temperaturagacha qizdirilgan gaz molekulalarining bir qismi atomlarga ajraldi (dissotsiasiyalandi). Dissotsialanish darajasi α = 0,3. 1) azotning qizigungacha bo`lgan; 2) qizigandan keyingi molekulyar azotning: 3) qizigandan keyingi atomar azotning; 4) qizigandan keyin butun azotning modda miqdori aniqlansin.

10. 100 *mol* simob qancha hajmni egallaydi?

11. Sirti 20 sm^2 bo`lgan buyumga 1 *mkm* qalinlikda kumush qatlami qoplandi. Qoplamda qancha kumush atomi bor ?

12. Avogadro soni N_A, moddaning zichligi ρ , uning molyar massasi μ ni bilgan holda shu moddaning birlik massasidagi, birlik hajmidagi, massasi m bo`lgan jismdagi, hajmi V bo`lgan jismdagi molekulalar sonini hisoblash formulalarini keltirib chiqaring.

13. Vodorod molekulasining diametri $2{,}3\ 10^{-10}$ *m* ni tashkil qiladi deb, 1 *mg* shu gazdagi barcha molekulalar bir—biriga zich qilib bir qatorga joylashtirilsa, qanday uzunlikdagi ip hosil bo`lishini hisoblang. Bu ip uzunligini Yerdan Oygacha bo`lgan o`rtacha masofa ($3{,}8 \cdot 10^8$ *km*) bilan solishtirib ko`ring.

14. O`rtacha chuqurligi 10 *m* va sirtining yuzi 20 $km^2$ bo`lgan ko`lga 0,01 *g* massali osh tuzi kristali tashlandi. Ko`ldan olingan hajmi 2 sm^3 bo`lgan suvda qancha tuz molekulasi bo`ladi ? Bunda tuz erib butun suv hajmida tekis taqsimlangan deb tasavvur qilish lozim.

15. Vodorod va geliy atomining massasi topilsin.

16. 1 *g* suv bug`ida qancha molekula bo`ladi?

17. 4 *l* sig`imli idishda 1 *g* vodorod bor. Bu idishning har 1 $sm^3$ hajmida qancha molekula bo`ladi?

18. Shisha idishda yaxshi vakuum olish uchun adsorbsiyalangan gazni chiqarishda idish devorlarini qizdirish zarurdir. Agar adsorbsiyalangan gaz molekulalari idish devoridan idish ichiga o`tsa, u holda r = 10 *sm* radiusli sferik idishdagi bosimning qanchaga ortishi hisoblansin. Adsorbsiya qatlamini monomolekulyar qatlam deb, molekulaning ko`ndalang kesim yuzi esa 10^{-15} sm^2 deb olinsin. Temperatura t = 300^0 S.

19. Agar yodning dissotsiasiya darajasi 50% bo`lsa, uning 1 *g* bug`ida qancha zarracha bo`ladi? Yod J_2 ning bir kilomoli massasi 254 *kg/kmol* ga teng.

20. Yarmisi dissotsiasiyalangan 16 *g* kislorodda qancha zarracha bo`ladi?

21. Sig`imi V=12 *l* bo`lgan idishda molekulalarining soni $N=1,44\cdot10^{18}$ ta bo`lgan gaz bor. Gaz molekulalarining konsentrasiyasi n aniqlansin.

22. Molekulalarining konsentrasiyasi $n=1,25\cdot10^{26}$ m^{-3}, ularning umumiy soni N = $2,5\cdot10^{23}$ bo`lgan gaz saqlanayotgan idishning sig`imi V aniqlansin.

23. V=20 *l* sig`imli idishda modda miqdori $\nu$=1,5 *kmol* bo`lgan gaz bor. Idishdagi molekulalarning konsentrasiyasi n aniqlansin.

24. Sig`imi V = 5 *l* bo`lgan idishda molekulalarining konsentrasiyasi n= 9,41 10^{23} m^{-3} bo`lgan kislorod bor. Gaz massasi *m* aniqlansin.

25. Sig`imi V=5 *l* bo`lgan ballonda m=17,5 *g* massali azot bor. Ballondagi azot molekulalarining konsentrasiyasi aniqlansin.

26. Massasi m = 58,5 *g* bo`lgan gaz V = 5 *l* sig`imli idishda saqlanmoqda. Gaz molekulalarining konsentrasiyasi $n = 2,2\cdot10^{26}$ m^{-3}. Bu qanday gaz?

27. Sig`imi V = 2 *l* bo`lgan ballonda m = 1,17 *g* massali kislorod bor. Idishdagi molekulalarning konsentrasiyasi $n = 1,1\cdot10^{25}$ $м^{-3}$. Shu berilganlar bo`yicha Avogadro doimiysi N_A aniqlansin.

28. Stakandagi hamma suv molekulalari biror tarzda "belgilab" qo'yilgan, deb faraz qilaylik. Shundan so'ng stakandagi suv yana Yer osti suviga borib quyiladigan kanalizasiyaga to'kib yuborildi. Yetarlicha vaqt o'tgandan so'ng bu suv Yerdagi hamma suv bilan tekis aralashib ketadi. Agar stakanga yana vodoprovoddan suv to'ldirib olinsa, stakanda qancha "belgilangan" suv molekulalari bo'ladi?

II. Molekulyar−kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi. Molekulalarning issiqlik harakat energiyasi va tezliklari.

Gazlar kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi:

$$p = \frac{1}{3} n \cdot .m_0 \cdot \overline{\upsilon^2}, \qquad (1)$$

buyerda n − konsentrasiya, p − gazning bosimi, m_0 − molekulaning massasi: $m_0 q\mu / N_0$, $\sqrt{\overline{u^2}}$ − molekulaning o'rtacha kvadratik tezligi.

Molekula ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi:

$$\overline{e_i} = \frac{m\overline{\upsilon^2}}{2} = \frac{3}{2} kT, \qquad (2)$$

buyerda k − Bolsman doimiysi, T − absolyut temperatura.

Gaz bosimining molekulalar konsentrasiyasi va temperaturaga bog'liqligi:

$$P = n \cdot k \cdot T \qquad (3)$$

Gaz molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi;

$$\overline{\upsilon_к} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \qquad (4)$$

Masala yechish namunalari.

1− masala. Hajmi V=2,5 *l* bo'lgan idishda kislorod qamalgan bo'lib, uning molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 500 *m/s* ga teng. Agar idishdagi barcha molekulalar soni $N=3 \cdot 10^{22}$ ta bo'lsa, kislorodning bosimi nimaga teng?

Yechilishi: Gazlarning kinetik nazariyasiga asosan gazning bosimi:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{\upsilon^2} = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m \cdot \overline{\upsilon^2}}{V \quad N_o}$$ (1), buyerda $m = 32 \cdot 10^{-3}$ *kg/mol*, $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}.

Berilganlarni (1) − formulaga qo'yib gaz bosimi P ni hisoblab topamiz:

$$p = \frac{1 \cdot 3 \cdot 10^{22} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{kg/mol} \quad (500 \text{m/s} \quad)^2}{3 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \quad 1/mol} = 5{,}3 \cdot 10^4 \text{Pa}$$

2− masala. Sig'imi V = 0,5 *l* bo'lgan kolbada normal sharoitda kislorod bor. Kolbadagi hamma molekulalarning ilgarilanma harakat o'rtacha energiyasi W_n aniqlansin.

Yechilishi: Hamma molekulalarning ilgarilanma harakat o'rtacha energiyasi

$$W_n = \overline{e_i} N \qquad (1)$$

munosabat yordamida ifodalanishi mumkin. Bunda $\overline{e_i}$ bitta molekulaning ilgarilanma harakat o'rtacha energiyasi; N — kolbadagi barcha molekulalar soni.

Ma`lumki,

$$\overline{e_i} = \frac{3}{2} kT \qquad (2)$$

bunda k — Bolsman doimiysn; T − termodinamik temperatura. Kolbadagi molekulalar sonini

$$N = \nu N_A \qquad (3)$$

formuladan topamiz. Bunda ν — kislorodning modda miqdori; N_A — Avogadro doimiysi.

Modda miqdori ν ni quyidagi mulohazalardan topamiz: ma`lumki, normal sharoitlarda molyar hajm $V_m = 22,4 \cdot 10^{-3}$ m^3/mol. Masalaning shartiga binoan kolbadagi kislorod normal sharoitda bo'lganligidan, kolbadagi kislorodning modda miqdori

$$\nu = \frac{V}{V_m} \qquad (4)$$

munosabat bilan ifodalanadi.

ν ning (4) bo'yicha ifodasini (3) ga qo'yib quyidagini olamiz

$$N = V\frac{N_A}{V_m} \qquad (5)$$

(2) va (5) hisobga olinganda, molekulalarning ilgarilama harakat energiyasi (1)

$$W_n = \frac{3kTVN_A}{2V_m} \qquad (6)$$

ko'rinishni oladi.

Kattaliklarning qiymatlarini (6) ga qo'yib, hisoblashni bajarsak,

$$W_n = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{2 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}} \; J = 75,9 \; J$$

3– masala. t = 27°S temperaturada ammiak bitta molekulasi NH_3 ning o'rtacha kinetik energiyasi va shu temperaturaning o'zida shu molekulaning aylanma harakat o'rtacha energiyasi topilsin.

Yechilishi: Molekulaning o'rtacha to'liq energiyasi

$$\bar{e} = \frac{i}{2}kT \qquad (1)$$

formula bo'yicha aniqlanadi. Bunda i - molekulaning erkinlik darajalari soni; k — Bolsman doimiysi; T — gazning termodinamik temperaturasi: $T = t+T_0$, bunda T_0 = 273 K.

To'rt atomli ammiak molekulasi erkinlik darajalarining soni i = 6 .

Kattaliklarning qiymatlarini (1) ga qo'yamiz:

$$\bar{e} = \frac{6}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{23} \cdot (27 + 273) \; J = 1,242 \cdot 10^{20} \; J$$

Molekulaning aylanma harakat o'rtacha energiyasi

$$\bar{e}_a = \frac{i-3}{2}kT \qquad (2)$$

formula bilan aniqlanadi, bundagi 3 soni ilgarilanma harakati uchun erkinlik darajalari sonini bildiradi.

Kattaliklarning qiymatlarini (2) ga qo'yamiz va hisoblaymiz:

$$\overline{e_{\grave{a}}} = \frac{6-3}{2} \; 1,38 \cdot 10^{-23}(27 + 273) \; J = 6,21 \cdot 10^{-21} \; J$$

Shuni qayd etamizki, ammiak molekulasining aylanma harakat energiyasini boshqacha yo'l bilan — to'liq energiya $\bar{e}$ ni ikkita teng qismlarga bo'lib topish mumkin edi. Gap shundaki, uch (va undan ko'p) atomli molekulalarning ilgarilanma va aylanma harakatlariga to'g'ri keluvchi erkinlik darajalarining soni bir

xil (3 tadan), shuning uchun ilgarilanma va aylanma harakat energiyalari bir xil. Mazkur holda

$$\overline{e_i} = \overline{e_à} = \frac{\overline{e}}{2} = \frac{1{,}242 \cdot 10^{-20}}{2} \quad J = 6{,}21 \cdot 10^{-21} \quad J$$

Masalalar

29. 50^0S temperaturada to'yingan suv bug'ining elastikligi 92,5 *mm sim. ust.* ga teng bo'lsa, bu bug'ning zichligi nimaga teng?

30. 15^0S temperatura va 730 *mm sim. ust.* bosimidagi vodorodning zichligi topilsin.

31. Hozirgi zamon laboratoriya usullari bilan idishdagi havo so'rib olinib, u juda yaxshi siyraklashtirilgan (R = 10^{-11} *mm. sim. ust.*) bo'lsa, idishdagi havoning zichligi nimaga teng? Havoning temperaturasi 15°S ga teng.

32. T = 300 K temperaturadagi va p = 1 *mPa* bosim ostidagi ideal gaz molekulalarining konsentrasiyasi n aniqlansin.

33. Gaz temperaturasining ikki xil: 1) T=3 K; 2) T=1000 K qiymatlarida ideal gazning bosimi p aniqlansin. Gaz molekulalarining konsentrasiyasi n = 10^{19} sm^{-3} deb qabul qilinsin.

34. V=30 *l* sig'imli ballonda T=300 K temperatura va p=5 *mPa* bosim ostida qancha gaz molekulasi bo'ladi?

35. Sig'imi V=100 sm^3 bo'lgan kolbada T=300 K temperaturada muayyan gaz saqlanmoqda. Agar sirqib chiqish natijasida kolbadan 10^{20} ta molekula chiqsa, kolbadagi gaz bosimi qanchaga pasayadi?

36. Gazning bosimi p=1 *mPa*, molekulalarining konsentrasiyasi n = 10^{10} sm^{-3}. 1) Gazning temperaturasi T; 2) gaz molekulalarining ilgarilama harakat o'rtacha kinetik energiyasi aniqlansin.

37. T=600 K temperaturadagi suv bug'lari molekulalarining ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi va to'la kinetik energiyasining o'rtacha qiymati aniqlansin. Shuningdek 1 *kmol* modda miqdoridagi barcha bug' molekulalarining ilgarilanma harakat kinetik energiyasi topilsin.

38. T = 400 K temperaturada geliyning, kislorodning hamda suv bug'ining bitta molekulasi to'la kinetik energiyasining o'rtacha qiymati aniqlansin.

39. Shisha idishda yuqori vakuum hosil qilish uchun yutilgan gazlarni chiqarib tashlash maqsadida havoni so'rib olishda idishni qizdirish kerak. Agar barcha yutilgan gazlar devordan idishga o'tsa, radiusi R=10 *sm* bo'lgan sferik idishdagi bosim qanchaga ko'tarilishi aniqlansin. Devordagi molekulalar qatlami monomolekulyar, bitta molekulaning kesimi esa $\sigma = 10^{-15}$ sm^2 deb hisoblansin. Gazni so'rib olish amalga oshirilayotgan paytdagi temperatura T=600 K.

40. Agar vodorodning dissosiasiyalanish molyar energiyasi V_m = 419 *kJ/mol* bo'lsa, vodorodning qanday T temperaturasida molekulasining ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi ularni atomlarga ajratishgayetarli bo'lishi aniqlansin.

Izoh. Dissosiasiyalanish molyar energiyasi deb modda miqdori ν=1 *mol* bo'lgan gazning barcha molekulalarini dissosiasiyalash uchun sarflanadigan energiyaga aytiladi.

41. Agar azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 500 *m/s*, uning zichligi esa 1,35 kg/m^3 bo'lsa, azotning bosimi qanday bo'ladi?

42. Gaz 6 *kg* massaga ega. U 200 *kPa* bosimda 5 m^3 hajmni egallasa, shu gaz molekulalari harakatining o'rtacha kvadratik tezligi qanday bo'ladi?

43. Agar kislorodning bosimi 0,2 *MPa*, molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 700 *m/s* ga teng bo'lsa, uning molekulalari konsentrasiyasini toping.

44. 20 *kPa* bosimda bir atomli gaz molekulasining o'rtacha kinetik energiyasini toping. Ko'rsatilgan bosimda bu gaz molekulalarining konsentrasiyasi $3\cdot10^{25}$ m^{-3}.

45. 150 *kPa* bosimda va 27°S temperaturada 2 m^3 gazda qancha molekula bor?

46. 27°S temperaturada vodorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligini va ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasini toping.

47. Havoni bir jinsli gaz deb hisoblab, havoda muallaq turgan $1{,}74\cdot10^{-12}$ *kg* massali chang zarrasining o'rtacha kvadratik tezligi molekulalar harakatining o'rtacha kvadratik tezligidan necha marta kichik ekanligini toping.

48. Agar Shtern tajribasida asbobning aylanish chastotasi 150 s^{-1} bo'lganda kumush molekulasining burchak siljishi $5{,}4^0$ ni tashkil etsa, bunda kumush bug'ining molekulasi qanday tezlikka ega bo'lgan? Ichki va tashqi silindrlar orasidagi masofa 2 *sm* ga teng.

49. 600 *m/s* tezlik bilan uchib kelayotgan azotning molekulasi idish devoriga normal ravishda urilib, undan tezligini yo'qotmasdan elastik qaytadi. Urilish vaqtida idish devorining olgan kuch impulsi topilsin.

50. 500 *m/s* tezlik bilan uchib kelayotgan argon molekulasi idish devoriga elastik uriladi. Molekula tezligining yo'nalishi bilan idish devoriga o'tkazilgan normal orasidagi burchak 60^0 ni tashkil qiladi. Urilish vaqtida idish devorining olgan kuch impulsi topilsin.

51. 430 *m/s* tezlik bilan uchib ketayotgan azot molekulasining harakat miqdori topilsin.

52. Havoni bir kilomolining massasi μ = 29 *kg/kmol* ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblab, 17^0S temperaturada havo molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

53. Bir xil temperaturadagi geliy va azot molekulalari o'rtacha kvadratik tezliklarining nisbati topilsin.

54. Atom bombasi portlash paytida temperatura taxminan 10^6 ^{0}S gradusgacha ko'tariladi. Bunday temperaturada hamma molekulalarni atomlarga dissosiasiyalangan, atomlarni esa ionlashgan, deb hisoblab, vodorod ionining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

55. Agar 200 *mm sim. ust.* bosimda vodorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 2400 *m/s* ga teng bo'lsa, bu sharoitda 1 sm^3 hajmdagi vodorod molekulalari—ning soni topilsin.

56. Biror gazning zichligi $6\cdot10^{-2}$ kg/m^3 ga, molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi esa 500 *m/s* ga teng. Gazning idish devoriga tasir qilgan bosimi topilsin.

57. Havodagi muallaq chang o'rtacha kvadratik tezligi havo molekulasining o'rtacha kvadratik tezligidan necha marta kam? Changning massasi 10^{-8} *g*. Havoni bir kilomolining massasi 29 *kg/kmol* ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

58. 20°S temperaturada vodorod molekulasining harakat miqdori topilsin. Molekulaning tezligini o'rtacha kvadratik tezlikka teng deb hisoblansin.

59. 2 *l* hajmli idishda 680 *mm sim. ust.* bosimli 10 *g* kislorod bor: 1) gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi, 2) idishdagi molekulalarning soni, 3) gazning zichligi topilsin.

60. Biror gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 450 *m/s* ga teng. Gazning bosimi $5\cdot10^4$ N/m^2 ga teng. Bu sharoitda gazning zichligi topilsin.

61. 1) 750 *mm sim. ust.* bosimda zichligi $8{,}2\cdot10^{-5}$ g/sm^3 ga teng bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin. 2) agar zichlikning bu qiymati 17^0S temperatura uchun berilgan bo'lsa, bu gazniig bir kilomoli maccasi nimaga teng?

62. Normal sharoitda biror gazning o'rtacha kvadratik tezligi 461 *m/s* ga teng. Bu gazniig 1 *g* dagi molekulalarining soni qancha?

63. 10°S temperaturada 20 *g* kislorodning issiqlik harakat energiyasi nimaga teng? Bu energiyaning qancha qismi molekulalarning ilgarilanma harakatiga va qancha qismi aylanma harakatiga to'g'ri keladi?

64. Qanday T temperaturada geliy atomining o'rtacha kvadratik tezligi ikkinchi kosmik tezlik 11,2 *km/s* ga teng bo'ladi?

65. Qanday T temperaturada kislorod molekulasi vodorod molekulasi T=100 K temperaturada ega bo'ladigan o'rtacha kvadratik tezlikka ega bo'ladi?

66. Sig'imi V= 4 *l* bo'lgan kolbada m = 0,6 *g* massali malum bir gaz p = 200 *kPa* bosim ostida saqlanmoqda. Gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

67. Idishdagi geliy va argon aralashmasining temperaturasi 1200 K. Geliy va argon atomlarining o'rtacha kvadratik tezligi hamda o'rtacha kinetik energiyasi aniqlansin.

68. Havoda muallaq suzib yuruvchi mayda chang zarralari go'yoki juda katta molekulalar kabi harakatlanadi. Agar havoning temperaturasi T = 300 K bo'lsa, m=10^{-10} *g* massali chang zarrachasining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

69. Kislorod molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi kislorod molekulalarining orasida bo'lgan m=10^{-8} *g* massali chang zarrachasining o'rtacha kvadratik tezligidan necha marta katta bo'ladi?

70. Gaz molekulasining o'rtacha kvadratik tezligi 2 *km/s* bo'lsa, uning o'rtacha arifmetik tezligi aniqlansin.

71. Hajmi 230 sm^3 bo'lgan idishda 0,01 *mm sim. ust.* bosimli 7^0S temperaturali gaz bor. Idishda nechta molekula bor?

72. Bosim 2 *at* va temperatura 47°S bo'lganda azot bilan vodorod aralashmasining zichligi 0,3 *g/l* ga teng. Aralashmadagi vodorod molekulalarining konsentrasiyasi qanchaga teng?

73. Qandaydir miqdordagi gazni o'z ichiga olgan idish υ tezlik bilan harakatlantiriladi, so'ngra to'satdan to'xtatiladi. Shunda gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi qanchaga ko'payadi: a) gaz bir atomli bo'lganda, b) gaz ikki atomli bo'lganda? Olingan natijaning fizik manosi qanday?

74. a) 132°S li kislorod, b) 0,1 *K* li geliy molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

75. Qanday temperaturada karbonat angidrid molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi 720 *km/soat* bo'ladi?

76. 17^0S temperaturali havoda muallaq turib qolgan 10^{-6} *sm* radiusli suv tomchilarining o'rtacha kvadratik tezligi aniqlansin.

77. Cheklangan miqdordagi moddaning eng yirik molekulasining massasi m=10^{-18} *g* ga teng. Havoda 27^0S temperaturada tortib o'lchangan bunday molekula issiqlik harakatining to'la o'rtacha kinetik energiyasi K ni toping. Shuningdek, shu temperaturali bunday molekulaning o'rtacha kvadratik tezligini toping

78. 27^0S temperaturali N_2 molekulasining o'rtacha kvadratik impulsini toping

79. 100^0S temperaturali azot molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi qanday temperaturadagi kislorod molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligiga teng bo'ladi?

III. Ideal gaz qonunlari. Ideal gaz holat tenglamasi

Ideal gazlarning holati Mendeleev—Klapeyron tenglamasiga bo'ysunadi:

$$PV = \frac{m}{m} RT, \qquad (1)$$

buyerda P—gazning bosimi V—uning hajmi, T—absolyut temperatura, m—gazning massasi, μ—gazning molyar massasi. R—universal gaz doimiysi.

Dalton qonuni:

$$P=P_1+P_2+\ldots P_i+\ldots+P_n, \qquad (2)$$

buyerda P—gaz aralashmasining bosimi; P_i—aralashma *i* tarkibiy qismining parsial bosimi; n—aralashma tarkibiy qismlari soni.

Masalayechish namunalari

1— masala. Hajmi V_1=40 *l* bo'lgan ballonda P_1=15 *MPa* bosimda siqilgan t_1 =27 ^{0}S temperaturali havo bor. Shu ballondagi suv osti kemasi sisternasidan qancha V hajmli suvni siqib chiqarish mumkin? Kema h=20 *m* chuqurlikda turibdi, buyerda temperatura t_2 =7^{0}S ga teng. Suvning zichligi $\rho=1\cdot10^3$ *kg/m*^{3} ga, atmosfera bosimi esa P_0=100 *kPa* ga teng.

Yechilishi. Sisternadagi suvni siqib chiqarish uchun havoning bosimi kamida shu chuqurlikdagi suvning bosimiga teng bo'lishi kerak. $P_2=P_0+\rho gh$. Kengaygandan keyin havo $V_2=V+V_1$ hajmni egallaydi. Birlashgan gaz qonuniga ko'ra

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \text{ yoki } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{(P_0+\rho gh)(V+V_1)}{T_2}.$$

Bundan suv chiqarishi mumkin bo'lgan V hajmni topamiz.

$$V = V_1\left[\frac{P_1T_2}{(P_0+rgh)T_1} - V_1\right]$$

Masalada berilgan son qiymatlarni o'rniga qo'yib hisoblansa, quyidagi kelib chiqadi:

$$V = 4\bullet10^{-2}\,м^3 \bullet \frac{15\bullet10^6\,Pa\bullet280K}{(1\bullet10^5\,Pa+1\bullet10^3\,\frac{кг}{м^3}\bullet9{,}8\frac{м}{c^2}\bullet20м)\bullet300K} - 4\bullet10^{-2}\,м^3 = 1{,}85м^3.$$

Javobi: V=1,85 *m*^{3}

2—masala. Yuzi S=100 *sm*^{2} bo'lgan og'ir porshenli vertikal silindr mq10 *g* massali kislorod bilan to'ldirilgan. Temperatura ΔT=50 K ga ortganda porshen h=7 *sm* balandlikka ko'tarilgan. Agar porshen ustidagi bosim $P_0=1\cdot10^5$ Pa ga teng bo'lsa, porshenning og'irligi F topilsin.

Yechilishi. Gazning holat tenglamasi silindr qizdirilguncha $P_0V = \frac{m}{\mu}RT$, qizdirilgandan keyin esa $P(V+Sh) = \frac{m}{m}R(T+DT)$ ko'rinishda bo'ladi, bunda R_0, V va T—gazning qizdirilgunga qadar bosimi, hajmi va temperaturasi, S—porshenning yuzi, h—porshenning ko'tarilgan balandligi. Ikkinchi tenglamani birinchi

tenglamadan ayirib va $P = P_0 + \frac{F}{S}$ ekanligini nazarda tutgan holda topilishi kerak bo'lgan F og'irlikni topamiz: $F = \frac{mR\Delta T}{\mu h} - P_0 S$

Masala shartida berilganlarning son qiymatlarini o'rniga qo'yib hisoblab quyidagini topamiz:

$$F = \frac{1\cdot 10^{-2}\,kg \cdot 8{,}31\,{}^{J}\!/_{kmolK} \cdot 50\hat{E}}{32\,{}^{kg}\!/_{mol} \cdot 7\cdot 10^{-2}\,m} \quad 10^5\,Pa \bullet 10^{-2}\,m^2 = 850 \quad N$$

3– masala. V=10 *l* hajmli ballonda P=1 *MPa* bosim ostida T_1 = 300 K temperaturali geliy bor. Ballondagi m = 10 *g* geliy sarflangandan keyin ballondagi temperatura T_2 = 290 K gacha pasaydi. Ballonda qolgan geliyning bosimi P_2 aniqlansin.

Yechilishi. Masalani yechish uchun ikki marta gazning boshlang'ich va oxirgi holatlari uchun Mendeleev–Klapeyron formulasidan foydalanamiz. Boshlang'ich holat uchun tenglama

$$P_1 V = \frac{m_1}{m} RT_1 \qquad (1)$$

ko'rinnshga ega, oxirgi holat uchun esa

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT_2 \qquad (2)$$

bunda m_1 va m_2 boshlang'ich va oxirgi holatlardagi geliy massasi, (1) va (2) tenglamalardagi m_1 va m_2 massalarni quyidagicha ifodalaymiz:

$$m_1 = mp_1 V/(RT_1)\,; \qquad (3)$$

$$m_2 = \mu p_2 V/(RT_2)\,. \qquad (4)$$

(3) dan (4) tenglikni ayirsak,

$$m = m_1 - m_2 = \frac{mp_1 V}{RT_1} - \frac{mp_2 V}{RT_2}$$

Bundan qidirilayotgan bosimni topamiz:

$$P_2 = \frac{T_2}{T_1} P_1 - \frac{m}{m}\frac{RT_2}{V} \qquad (5)$$

(5) tenglikning o'ng tomoni bosim birligini berishini tekshiramiz. Buning uchun unga kiruvchi barcha kattaliklarni mos birliklarda ifodalaymiz. Birinchi qo'shiluvchi ifodalanadigan birlik shubha tug'dirmaydi, chunki T_2/T_1 nisbat o'lchamsiz kattalikdir. Ikkinchi qo'shiluvchi qanday birliklarda ifodalanishini tekshiraylik

$$\frac{[m][R][T_2]}{[m][V]} = \frac{kg}{kg/mol}\frac{[J/(\hat{E}\cdot mol)]\quad \hat{E}}{m^3} =$$

$$= \frac{kg}{kg}\frac{J}{m^3}\frac{\hat{E}}{\hat{E}}\frac{mol}{mol} = \frac{J}{m^3} = \frac{N}{m^2}\frac{m}{m} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Olingan hisoblash formulasining o'ng tomoni izlanayotgan kattalik – bosimning birligini berishiga ishonch hosil qilgandan keyin, (5) ga barcha kattaliklarning qiymatlarini qo'yishimiz va hisoblash o'tkazishimiz mumkin.

(5) formuladagi geliyning molyar massasi m dan boshqa barcha kattaliklar malum. Uni topamiz ($m = M_n$ k).Geliy bir atomli gaz bo'lganligi tufayli uning nisbiy

molekulyar massasi nisbiy atom massasi A_n ga teng. D.I. Mendeleev jadvalidan A_n = 4 ni topamiz. Shunday qilib, geliyning molyar massasi:

$$m = A_r \cdot 10^{-3}\ kg/mol = 4 \cdot 10^{-3}\ kg/mol.$$

Kattaliklarning qiymatlarini (5) ga qo'yib, natijani olamiz:

$$Đ_2 = \frac{290}{300} \cdot 10^6 \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8{,}31 \cdot 290}{10 \cdot 10^{-3}} Pa = 3{,}64 \cdot 10^5 Pa = 364\ \ kPa$$

Masalalar.

80. Havo 720 *mm. sim. ust.* bosimiga teng bosim ostida turibdi. Agar bosim 2 texnik atmosferaga yetsa-yu, temperatura o'zgarmasa, shu havoning hajmi qanday o'zgaradi?

81. Gazning hajmini 0^0S dagiga qaraganda 2 marta oshirish uchun, bu gazni o'zgarmas bosimda necha gradus isitish kerak?

82. 30^0S da V hajmni egallagan gazning hajmi 0,75 V bo'lishi uchun uni o'zgarmas bosimda qanday temperaturagacha sovutish kerak?

83. Sig'imi 20 *l* bo'lgan ballonda 100 *atm.* bosim ostida, temperaturasi 16^0 S bo'lgan kislorod bor. Shu kislorodning hajmi normal sharoitda qanday bo'ladi?

84. O'lchamlari 8*m* x 5*m* x 4*m* bo'lgan uydagi havoning temperaturasi 10^0 S ga, bosimi esa 78 *sm sim. ust.* bosimiga teng. Ana shu uydagi havoning massasi topilsin.

85. Hajmi 40 *l* bo'lgan bomba ichida temperaturasi 15^0 S li qisilgan 8 *kg* kislorod bor. Shu kislorodning bosimi topilsin.

86. Uydagi havoning hajmi 100 m^3 ga teng. Agar uyning temperaturasi 10^0 S dan 25^0 S gacha oshirilsa va atmosfera bosimi 77 *sm sim. ust.* bosimiga teng bo'lsa, uydan chiqib ketgan havoning massasi qancha bo'ladi?

87. Ballonda 15 *MPa* bosim ostida 40 *l* siqilgan havo bor. Agar suv osti kemasi 20 *m* chuqurlikda turgan bo'lsa, shu ballondagi havo bilan kema sisternasidan qancha suvni siqib chiqarish mumkin?

88. Uzunligi 60 *sm* bo'lgan ikki uchi ochiq shisha naychaning 1/3 uzunligicha qismi simobli idishga tushiriladi. So'ngra naychaning yuqori uchini berkitib, u simobdan chiqariladi. Naychada qanday uzunlikdagi simob ustuni qoladi? Atmosfera bosimi 760 *mm sim. ust.*

89. Kislorodning zichligi azotning normal sharoitdagi zichligiga teng bo'lishi uchun kislorodni normal bosimda qanday temperatu—ragacha qizdirish lozim?

90. Hajmi V = 60 m^3 bo'lgan xonadagi havoning temperaturasi normal bosimda T_1 = 280 K dan T_2 = 300 K gacha ko'tarilganda xonadan qancha m massa havo chiqib ketadi?

91. Berk idishdagi gazni 140 K gacha qizdirganda bosim 1,5 marta ortsa, idishdagi gaz dastlab qanday temperaturada bo'lgan?

92. Gaz to'ldirilgan butilkaning og'zi kesimining yuzi 2,5 sm^2 bo'lgan tiqin bilan berkitilgan. Agar tiqinni tutib turuvchi ishqalanish kuchi 12 *N* bo'lsa, tiqin butilkadan otilib chiqishi uchun gazni qanday temperaturagacha qizdirish lozim? Butilkadagi havoning boshlang'ich (dastlabki) bosimi va tashqi bosim bir xil bo'lib, 100 *kPa* ga, boshlang'ich temperatura esa 3^0S ga teng bo'lgan.

93. Og'zi mahkam berkitilgan shishadagi havoiing 7^0S temperaturada bosimi 1 *atm.* Shisha isitilganda havo bosimi 1,3 *atm* gayetganda tiqin otilgan. Shisha qanday temperaturagacha isitilganligi topilsin.

94. 64 *kg* kislorod sig'adigan ballon devori 20^0S temperaturada 1600 N/sm^2 bosimga chidasa, uning eng kichik hajmi qanday bo'ladi?

95. Ballonda 10^7 N/m^2 bosimli 10 *kg* gaz bo'lgan. Ballondagi bosim $2{,}5 \cdot 10^6$ N/m^2 ga teng bo'lishi uchun balondan qancha miqdor azotni olish kerak? Azotning temperaturasi o'zgarmas deb hisoblansin.

96. Balandligi 5 *m* va polining yuzi 200 m^2 bo'lgan auditoriyadagi havoning massasi topilsin. Binoning temperaturasi 17^0S, bosimi 750 *mm sim. ust.* ga teng. (Bir *mol* havoning massasi 29 *g/mol* deb olinsin).

97. Binoni to'ldirib turgan qishdagi (7^0 S) havoning og'irligi yozdagi (37^0S) havoning og'irligidan necha marta katta? Bosim qishda va yozda bir xil deb olinsin.

98. 1) 29^0S va 2) 180^0S temperaturalar uchun 15,5 *g* kislorodning izotermalari chizilsin.

99. Gaz solingan 10 m^3 hajmli ballonda 17^0S temperatura va 720 *mm sim. ust.* bosimda qancha miqdor (*kilomol*) gaz bo'ladi?

100. 4 *l* hajmli yopiq idishdagi 20^oS temperaturali 5 *g* azot 40^0S temperaturagacha isitilgan. Gazning isitilishdan oldingi va keyingi bosimi topilsin.

101. Havosi so'rib olingan, ikki uchi kavsharlab qo'yilgai gorizontal kapillyarning o'rtasida l = 20 *sm* uzunligidagi simob ustuni bor. Agar kapillyarni vertikal qilib qo'yilsa, simob ustuni Δl = 10 *sm* siljiydi. Kapillyardagi havo qancha bosimgacha so'rib olingan? Kapillyarning uzunligi l = 1 *m*.

102. Ballonda temperaturasi 27^0S ga, bosimi esa 40 *atm.* bosimga teng bo'lgan qisilgan gaz bor. Agar ballondagi gaz massasining yarmini chiqarib yuborilgandan keyin, temperatura 12^0S ga tushib qolsa, ballondagi bosim nimaga teng bo'lib qoladi?

103. Aerostatning hajmi 300 m^3 ga teng. Unga 20^0S da va 750 *mm sim. ust.* bosimiga teng bosimda vodorod to'ldirilmoqda. Agar ballondan aerostatga har sekundda 2,5 *g* vodorod o'tib tursa, aerostatni vodorod bilan to'ldirish qancha vaqt davom etadi?

104. Rezina sharda temperaturasi 20^0S bo'lgan va 780 *mm sim. ust.* bosimga teng bosim ostida turgan 2 *l* havo bor. Agar shu shar suvda 10 *m* chuqurlikkacha botirilsa, shardagi havo qanday hajmni egallaydi? Suvning temperaturasi 4^0S ga teng deb olinsin.

105. O'lchamlari 12*m* x 5*m* x 4*m* bo'lgan sinfdagi xavoda temperatura 15^0 S ga, bosim 750 *mm sim. ust.* bosimiga teng bo'lganda nechta molekula bo'ladi? Agar har sekundda shu molekulalardan 1 milliardi tashqariga chiqib tursa, hamma molekulalarni batamom chiqarib yuborish uchun qancha vaqt kerak?

106. Siqilgan gazli ballonga o'rnatilgan manometr 18^0S temperaturada 840 N/sm^2 bosimni ko'rsatadi. Agar temperatura -23^0S gacha pasaysa, manometr qancha bosimni ko'rsatadi? Sovish tufayli ballon sig'imining o'zgarishi nazarga olinmasin.

107. 745 *mm sim. ust.* bosimli va 20^0S temperaturali gazning hajmi 164 sm^3. O'sha massali gazning normal sharoitdagi hajmi qancha bo'ladi?

108. Kompressor har bir dam berganda atmosfera bosimidagi va -3^0S temperaturali 4 *l* havoni o'ziga olib, uni 1,5 m^3 sig'imli rezervuarga tiqadi, bunda rezervuardagi havoning temperaturasi 45^0S atrofida saqlanadi. Rezervuardagi bosimni 20 N/sm^2 qadar orttirish uchun kompressor necha marta dam berishi kerak?

109. Agar -13^0S temperaturada 10 *l* sig'imli ballonga o'rnatilgan manometr 900 N/sm^2 bosimni ko'rsatsa, bu ballonga qamalgan kislorod massasi aniqlansin.

110. Siqilgan vodorod qamalgan 10 *l* sig'imli ballondan, ventil buzilgani sababli, gaz chiqib ketadi. 7^0S temperaturada manometr 500 N/sm^2 bosimni ko'rsatadi. Bir qancha vaqt o'tgach 17^0S temperaturada ham manometr o'sha oldingi bosimni ko'rsatgan bo'lsa, ballondan qancha gaz chiqib ketgan?

111. Gaz 0,2 *MPa* bosimda va 15^0S temperaturada 5 *l* hajmga ega. Normal sharoitda shunday massali gazning hajmi qancha bo'ladi?

112. Normal sharoitda bo'lgan 1 m^3 tabiiy gaz yonganda 38 *MJ* energiya ajraladi. 110 *kPa* bosim ostida va 7^0S temperaturada bo'lgan 10 m^3 gaz yonganda qancha energiya ajraladi?

113. Gazning hajmi 2 marta kamayganda bosimi 120 *kPa* ga ortdi, absolyut temperatura esa 10% ko'tarildi. Dastlabki bosim qanday bo'lgan?

114. Agar 200 *kPa* bosimda va 240 K temperaturada gazning hajmi 40 *l* ga teng bo'lsa, shu gazda qancha miqdor modda bor?

115. Hozirgi zamon texnikasi 0,1 *nPa* gacha vakuum hosil qilishga imkon beradi. Shunday sharoitdagi 1 sm^3 hajmda 300 K da gazning qancha molekulasi qoladi?

116. Ballonda 15^0S temperaturali gaz bor. Agar gazning 40% i ballondan chiqsa va bunda temperatura 8^0S ga kamaysa, gazning bosimi necha marta kamayadi?

117. Mendeleev jadvalidan foydalanib asetilen (S_2N_2) ning normal sharoitdagi zichligini toping.

118. Kislorod (O_2) ning zichligini bilgan holda metan (SN_4) ning normal sharoitdagi zichligini toping.

119. Yupqa qog'ozdan qilingan hajmi V = 0,1 m^3 bo'lgan shar temperaturasi T_2 = 340 K bo'lgan issiq havo bilan to'ldiriladi. Atrofdagi havoning temperaturasi T_1 = 290 K. Shar ichidagi havoning bosimi va atmosfera bosimi bir xil bo'lib, u 100 *kPa* ga teng. Qog'oz qobiqning massasining qiymati qancha bo'lganda shar ko'tariladi?

120. a) Hajmi har xil bo'lgan idishlarda izoxorik qizdirilayotgan ikki bir xil massali ideal gaz uchun; b) hajmi bir xil bo'lgan idishlarda izoxorik qizdirilayotgan har xil massali ideal gazlar uchun bosimning mutloq temperaturaga bog'liqlik grafiklari bir—biridan nima bilan farq qiladi?

121. Uzunligi L=1,6 *m* bo'lgan, normal atmosfera bosimi R_0 da havo bilan to'ldirilgan silindr ichiga yuzasi S = 200 sm^2 bo'lgan porshenni sekin kirita boshladilar. Agar porshen silindr tubidan *l*=10 *sm* masofada to'xtatilsa, unta tasir etuvchi kuch aniqlansin.

122. U simon manometrga simob quyilgan. Manometrning ochiq tirsagi P_o normal atmosfera bosimidagi atrof muhit bilan tutashtirilgan va ochiq tirsakdagi simob sathi yopiq tirsakdagisidan h=10 *sm* yuqorida turibdi. Bunda yopiq tirsakning simobsiz qismining uzunligi *l* = 20 *sm*. Ochiq tirsakni havoli ballonga tutashtirilganlarida simob sathlarining farqi ortdi va Δh_1 =26 *sm* qiymatga yetishdi. Ballondagi havo bosimi P topilsin.

123. Ideal gaz o'zgarmas bosim ostida ΔT=1K ga qizdirilganda uning hajmi dastlabki hajmining 1/350 qismiga ortdi. Gazning boshlang'ich temperaturasi T topilsin.

124. V=12 *l* sig'imli ballonda karbonat angidrid gazi bor. Gazning bosimi P =1 *MPa* da temperaturasi T=300 K. Ballondagi gaz massasi aniqlansin.

125. V= 2 m^3 sig'imli qozonda T=500 K temperaturali m=10 *kg* massali o'ta qizdirilgan suv bug'lari bor. Qozondagi bug'ning bosimi R aniqlansin.

126. T=300 K temperaturada havodagi to'yingan suv bug'larining zichligi aniqlansin. Shu temperaturada havodagi to'yingan suv bug'ining bosimi P=3,55 *kPa*.

127. Sig'imi V = 25 *l* bo'lgan ballonda T=290 K temperaturali vodorod bor. Vodorodning bir qismini sarflaganlaridan keyin ballondagi bosim Δp=0,4 *MPa* ga pasaydi. Sarflangan vodorodning massasi m aniqlansin.

128. Sig'imlari V_1=20 *l* va V_2=44 *l* bo'lgan ballonlarda gaz saqlanmoqda. Birinchi ballondagi bosim P_1 =2,4 *MPa*, ikkinchisidagi esa P_2 =1,6 *MPa*. Agar

gazning temperaturasi oldingidek qolsa, ballonlar ulangandan keyin umumiy bosim P qanday bo'ladi?

129. Vodorod va kislorodlarning massa ulushlari w_1 va w_2 mos ravishda 1/9 va 8/9 ga teng bo'lgan aralashmasining zichligi topilsin. Aralashmaning bosimi P=100 *kPa*, temperaturasi T=300 K.

130. Quruq havo asosan kislorod va azotdan iborat. Agar xavoning boshqa tarkibiy qismlari inobatga olinmasa, unda kislorodning va azotning massa ulushlarini moc ravishda w_1 = 0,232 va w_2=0,768 deb hisoblash mumkin. Havoning molyar massasi μ aniqlansin.

131. V=15 *l* sig'imli idishda T=23^0 S temperaturada va P=200 *kPa* bosimda azot va vodorod aralashmasi bor. Agar azotning aralashmadagi massa ulushi *w* = 0,7 bo'lsa, aralashmaning va uni tashkil etuvchilarining massalari aniqlansin.

132. Sig'imi *V* = 5 *l* bo'lgan ballonda P=600 *kPa* bosim ostida geliy va vodorod aralashmasi saqlanadi. Aralashmaning massasi m=4 *g*, geliyning massa ulushi *w* = 0,6. Aralashmaning temperaturasi T aniqlansin.

133. Idishda kislorod va vodorod aralashmasi bor. Aralashmaning massasi m = 3,6 *g*. Kislorodning massaviy w_1 ulushi 0,6 ni tashkil etadi. Aralashmaning ν va har bir gazning alohida ν_1 hamda ν_2 modda miqdorlari aniqlansin.

134. 10^{0}S temperatura va $2\cdot10^5$ N/m^2 bosimdagi biror gazning zichligi 0,34 kg/m^3 ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?

135. 7° S temperaturali 12 *g* gaz $4\cdot10^{-3}$ m^3 hajmni egallaydi. Gaz o'zgarmas bosimda isitilganda uning zichligi $6\cdot10^{-4}$ g/sm^3 ga teng bo'lib qolgan. Gaz qanday temperaturagacha isitilgan?

136. 10 *g* kislorod 10^{0}S temperatura va 3 *atm* bosimda turibdi. U o'zgarmas bosimda qizdirilgandan so'ng kengayib, 10 *l* hajmnn egallaydi. Gazning 1) kengaygandan oldingi hajmi, 2) kengaygandan keyingi temperaturasi, 3) kengayishdan oldingi zichligi va 4) kengaygandan keyingi zichligi topilsin.

137. Sig'imi 1 m^3 bo'lgan berk idishda 0,9 *kg* suv va 1,6 *kg* kislorod bor. 500^{0}S temperaturada suvning to'liq bug'ga aylanishi malum bo'lsa, bu temperaturada idishdagi bosim topilsin.

138. $2\cdot10^{-3}$ m^3 hajmli idish 6 *g* karbonat angidrid (SO_2) va 5 *g* azot (I)−oksidi (N_2O) bilan to'ldirilgan. 127^{0}S temperaturada idishdagi umumiy bosim qanday?

139. Idishda 10^{0}S temperaturada va 10^6 N/m^2 bosimda 14 *g* azot va 9 *g* vodorod bor. 1) aralashma bir kilomolining massasi, 2) idishning hajmi topilsin.

140. Normal sharoitda havo to'ldirilgan idishga dietil efiri ($S_2H_5OS_2N_5$) yuborilgan. Hamma efir bug'lanib ketgandan keyin, idishdagi bosim 1050 *mm sim. ust.* ga teng bo'lib kolgan. Idishga qanday miqdorda efir yuborilgan? Idishning hajmi V = 2 *l*.

141. 0,5 *l* sig'imli idishda 1 *g* bug'simon yod bor. 1000^{0}S temperaturada idishdagi bosim 700 *mm. sim. ust.* ga teng bo'lgan. Shunday sharoitda iod molekulasi I_2 ning yod atomlari I ga dissosiasiyalanish darajasi topilsin. I_2 ning bir kilomoli massasi 254 *kg/kmol* ga teng.

142. Idishda karbonat angidrid gazi bor. Biror temperaturada karbonat angidrid gazining kislorodga va karbon oksidiga dissosiasiyalanish darajasi 25% ga teng. Bu sharoitdagi bosim karbonat angidrid gazi molekulalari dissosiasiyalanmagandagi bosimidan necha marta katta bo'ladi?

143. Havo og'irligining 23,6% qismi kisloroddan va 76,4% qismi azotdan tashkil topgan deb hisoblab, havoning 750 *mm. sim. ust.* bosimda va 13^{0}S temperaturadagi zichligi topilsin. Bu sharoitda kislorod va azotning parsial bosimi topilsin.

144. Idishda 10 *g* karbonat angidrid va 15 *g* azotdan iborat gaz aralashmasi bor. Bu aralashmaning 27^0S temperatura va $1{,}5\cdot10^5$ *N/m*^{2} bosimdagi zichligi topilsin.

145. Massalari m_1, m_2, m_3, ... va molyar massalari mos ravishda μ_1, μ_2, μ_3, ... bo'lgan turli ideal gazlar aralashmasi berilgan. Bunday gaz aralashmasi uchun holat tenglamasini $PV = \frac{m}{\mu}RT$ ko'rinishda yozish mumkin ekanini ko'rsating, bunda $m = m_1 = m_2 = m_3 = \ldots$ – gazlar aralashmasining to'la massasi, μ – aralashmaning o'rtacha molyar massasi rolini o'ynovchi doimiy kattalik. Shu μ kattalikni aniqlang.

146. Gazning zichligini aniqlash uchun tubandagicha yo'l tutildi. V hajmli katta shisha ballonga tekshirilayotgan gaz N *mm sim. ust*. bosimgacha qamaldi va tarozida tortildi. Uning massasi M ga teng bo'lib chiqdi. So'ngra undagi gazning bir qismi chiqarib yuborildi va uning bosimi h *mm sim. ust*. bosimga tushdi. Endi qayta tortilgan ballonning yangi massasi m ga teng bo'ldi. Gazning normal atmosfera bosimi sharoitidagi zichligi qanday?

147. Gaz to'ldirilgan cho'g'lanma elektr lampa balloni 600 *mm sim. ust*. bosimda azot gazi bilan to'ldirilgan. Lampa ballonining hajmi 500 *sm*^{3} ga teng. Agar shu lampani suvga botirib turib uning suv ichidagi bir uchini sindirib teshik ochilsa, normal atmosfera bosimi sharoitida lampa balloni ichiga qancha miqdor suv kiradi?

148. Agar porshenli havo nasosi porshenining bir yurishida v hajm havo so'rilsa, V hajmli idishda havo bosimini R_1, dan R_2 gacha tushirish uchun porshen necha (n) yurish qilishi kerak? Foydasiz fazoni hisobga olmang.

149. Barometrik nay simob to'ldirilgan chuqur idishga shunday botirilganki, undagi simob sathi idishdagi simob sathi bilan bir xil. Bu holda nay ichidagi havo ustunining uzunligi *l sm* ga teng bo'lgan. Nay 1 *sm* yuqori ko'tarilganda naydagi simob sathi idishdagi simob sathidan qancha Δl santimetrga ko'tariladi? Atmosfera bosimi N *sm sim. ust.* ga teng.

150. Uzunligi *l* bo'lgan silindrik pipetka simobga yarmigacha botirildi. Uning uchini barmoq bilan berkitib, simobdan chiqarib olindi. Barmoq naydan olinganda unga kirgan simobning bir qismi oqib chiqdi. Nayda qolgan simob ustunining uzunligi qancha? Atmosfera bosimi N ga teng.

151. Temperatura 0^0S va bosim 760 *mm sim. ust.* bo'lganda havoning zichligi 0,001293 *g/sm*^{3} ga teng. Temperatura $27{,}3^0$S va bosim 750 *mm sim. ust*. bo'lganda bir litr havoning massasi qanday bo'lishini aniqlang.

152. Fabrika trubasning uzunligi *l* = 50 *m* bo'lib, undan $t_1 = 60^0$S temperaturali tutun havoga so'rilib chiqadi. Trubada so'rish kuchini yuzaga keltiruvchi statik bosim R ni aniqlang. Havoning temperaturasi t_2q -10^0S. Havoning zichligi ρ_0q$1{,}29\cdot10^{-3}$ *g/sm*^{3} ga teng.

153. Aylanayotgan moyli nasosning so'rib chiqarish tezligi 150 *sm*^{3}*/s* ga teng. Sig'imi 5 *l* bo'lgan kolba ichidagi havoni normal atmosfera bosimidan $1\cdot10^{-2}$ *mm sim. ust*. bosimgacha so'rib chiqarish uchun qancha vaqt talab etiladi?

IV. Ideal gazlarning ichki energiyasi va issiqlik sig'imlari

Molekulalarning issiqlik harakat energiyasi (gazning ichki energiyasi):

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RT, \qquad (1)$$

bundagi i – gaz molekulalarining erkinlik darajalari soni.

Gazlarning S_μ molyar va c solishtirma issiqlik sig'imlari o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$C_\mu = \mu \quad c \qquad (2)$$

O'zgarmas hajmdagi gazning molyar issiqlik sig'imi:

$$C_{mn} = \frac{i}{2}R, \qquad (3)$$

o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi:

$$C_{mr} = \frac{i+2}{2}R. \qquad (4)$$

Bulardan ko'rinadiki, molyar issiqlik sig'imi gaz molekulalari erkinlik darajalari soni bilan aniqlanadi. Bir atomli gazlar uchun $i = 3$ ga, ikki atomli gazlar uchun $i = 5$ ga, ko'p atomli gazlar uchun esa i oltiga teng.

Mayer tenglamasi:

$$C_{mr} - C_{mn} = R. \qquad (5)$$

Adiabata ko'rsatkichi:

$$g = \frac{C_r}{C_n} \quad \text{yoki} \quad g = \frac{i+2}{i} \qquad (6)$$

Masalayechish namunalari

1– masala. 10^0 S temperaturada 20 g kislorodning issiqlik *h*arakat energiyasi nimaga teng? Bu energiyaning qancha qismi molekulalarning ilgarilama harakatiga va qancha qismi aylanma harakatiga to'g'ri keladi?

Yechilishi. Gaz molekulalarining issiqlik harakat energiyasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W = \frac{i}{2}\cdot\frac{m}{m}RT \qquad (1)$$

Ikki atomli gaz uchun i = 5 bo'lib, shuning i_1 = 3 tasi molekulalarning ilgarilama harakatiga va i_2 = 2 tasi esa ularning aylanma harakatiga to'g'ri keladi. Masalada berilganlarning son qiymatlarini (1) ga qo'ysak: $W = 3{,}7\cdot10^3$ J bo'lib, $W_i = 2{,}2\cdot10^3$ J va $W_a = 1{,}5\cdot10^3$ J bo'ladi.

2 – masala. Qaldiroq gaz (vodorod bilan kislorodning portlovchi aralashmasi)ning issiqlik sig'imi shu gaz yonganda hosil bo'lgan suv bug'ining issiqlik sig'imidan necha marta katta? Masala: I) V = const, 2) p = const hollar uchunyechilsin.

Yechilishi. $2H_2+O_2 = 2H_2O$ tenglamadan ko'rinadiki, ikki atomli gazlarning uch kilomolidan reaksiyadan keyin uch atomli gazning ikki kilomoli hosil bo'ladi.

Shuning uchun yonmasdan ilgari $C'_V = 3\frac{5}{2}R$ va $C'_p = 3\frac{7}{2}R$; yongandan keyin esa $C''_V = 2\frac{6}{2}R$ va $C''_P = 2\frac{8}{2}R$ bo'ladi. Shuning uchun 1) $\frac{C'_V}{C''_V} = 1{,}25$; 2) $\frac{C'_P}{C''_P} = 1{,}31$.

3−masala. Neon va vodorodni ideal gaz deb hisoblab, ularning o'zgarmas hajm (S_V) va o'zgarmas bosim (S_P) dagi solishtirma issiqlik sig'imlari hisoblansin.

Echilishi. Ideal gazlarning solishtirma issiqlik sig'imlari

$$C_V = \frac{i}{2}\frac{R}{\mu}; \qquad (1)$$

$$C_P = \frac{i+2}{2}\frac{R}{\mu} \qquad (2)$$

formulalar bilan ifodalanadi. Neon (bir atomli gaz) uchun $i_1 = 3$, $\mu_1 = 20\cdot10^{-3}$ *kg/mol*. i_1, μ_1 va R larning qiymatlarini (1) va (2) formulalarga qo'yib hisoblasak; $C_{V_1} = 624$ *J/(kg×K)*; $C_{P_1} = 1{,}04$ *kJ/(kg×K)*.

Vodorod (ikki atomli gaz) uchun $i_2 = 5$; $\mu_2 = 2\cdot10^{-3}$ *kg/ mol*.
(1) va (2) formulalar bo'yicha ˆhisoblash vodorodning solishtirma issiqlik sig'imlari uchun quyidagi qiymatlarni beradi:
$C_{V_2} = 10{,}4$ *kJ/(kg×K)*; $C_{P_1} = 14{,}6$ *kJ/(kg×K)*.

Masalalar.

154. 15^0S temperaturada havoning 1 *g* dagi molekulalari issiqlik harakatining kinetik energiyasi topilsin. Havoni bir kilomolining massasi 29 *kg/kmol* ga teng bo'lgan bir jinsli gaz deb hisoblansin.

155. 7^0S temperaturada 1 *kg* dagi azot molekulalarining aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng?

156. $1{,}5\cdot10^5$ N/m^2 bosimda bo'lgan 2 *l* hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulalari issiqlik harakatining energiyasi nimaga teng?

157. 0,02 m^3 hajmli ballondagi azot molekulalari ilgarilama harakatining kinetik energiyasi $5\cdot10^3$ *J* ga, o'rtacha kvadratik tezligi esa 2000 *m/s* ga teng. 1) ballondagi azotning miqdori, 2) azot qanday bosimda bo'lganligi topilsin.

158. Geliyning atomlari Yerniig tortish kuchini yengib, Yer atmosferasini abadiy tashlab ketishi uchun geliy atomlari issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasi qanday temperaturada yetarlicha bo'ladi? Shunga o'xshash masala Oy uchun yechilsin.

159. R = $8\cdot10^4$ N/m^2 bosimda zichligi $\rho = 4$ kg/m^3 bo'lgan 1 *kg* ikki atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulalari issiqlik harakatining energiyasi topilsin.

160. R = 40 *mm sim. ust.* bosimda va t = 27°S temperaturada V = 10 sm^3 hajmni egallagan ikki atomli gaz molekulalarining soni qancha? Bu molekulalarning issiqlik harakati energiyasi qancha?

161. Hajmi 70 m^3 bo'lgan xonadagi temperatura 280 K edi. Pechka yoqilgandan keyin temperatura 296 K gacha ko'tarildi. Agar bosim doimiy bo'lib, 100 *kPa* ga teng bo'lsa, havo kengayishida bajargan ishini toping.

162. 320 *g* kislorodni 10 K ga izobarik qizdirganda u qancha ish bajaradi?

163. 2 *kg* vodorodning temperaturasini 10 K ga ko'tarishda uning ichki energiyasi ortishini hisoblang.

164. O'zgarmas bosimda gazni qizdirishga ketgan issiqlik miqdori gazning kengayishida bajaradigan ishidan necha marta katta? O'zgarmas bosimda gazning solishtirma issiqlik sig'imi C_p , molyar massasi μ.

165. Muayyan ikki atomli gazning solishtirma issiqlik sig'imlari—ning farqi c_p — c_v =260 *J/ (kg×K).* Gazning molyar massasi μ va uning solishtirma issiqlik sig'imlari C_v va C_p lar topilsin.

166. Tarkibida 10 *g* kislorod va 20 *g* azot bo'lgan gaz aralashmasining solishtirma issiqlik sig'imlari C_v va C_p qanday bo'ladi?

167. Agar birinchi tashkil etuvchisining modda miqdori ν_1 = 2 *mol*, ikkinchisining modda miqdori esa ν_2 = 4 *mol* bo'lsa, kislorod va azot aralashmasining solishtirma issiqlik sig'imi C_p aniqlansin.

168. Ballonda argon va azot bor. Agar argonning w_1 va azotning w_2 massaviy ulushlari bir xil va w = 0,5 bo'lsa, bu gazlar aralashmasining solishtirma issiklik sig'imi C_v aniqlansin.

169. Gaz aralashmasi bir xil sharoitlarda va teng hajmlarda olingan xlor hamda kripton gazlaridan iborat. Aralashmaning solishtirma issiqlik sig'imi C_p aniqlansin.

170. Agar aralashmadagi gazlarning modda miqdorlari bir xil va ν ga teng bo'lsa, ksenon va kislorod aralashmasining solishtirma issiqlik sig'imi C_v aniqlansin.

171. Tarkibida massasi m_1 =10 *g* geliy va massasi m_2 = 4 *g* vodorod bo'lgan gaz aralashmasi uchun adiabata ko'rsatkichi γ topilsin.

172. Gaz aralashmasi bir xil sharoitlarda va bir xil hajmlarda olingan argon va azot gazlaridan tashkil topgan. Bunday aralashmaning adiabata ko'rsatkichi γ aniqlansin.

173. Agar aralashmadagi har ikkala gazning massaviy ulushlari bir xil va w = 0,5 bo'lsa, vodorod hamda neon aralashmasining adiabata kursatkichi γ topilsin.

174. Agar aralashmadagi gazlarning modda miqdorlari bir xil va ν ga teng bo'lsa, kislorod hamda argondan iborat gazlar aralashmasining adiabata ko'rsatkichi γ topilsin.

175. O'zgarmas bosimda kislorod uchun solishtirma issiqlik sig'imining o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imiga nisbati topilsin.

176. Biror ikki atomli gazning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 3,5 *kal/g×K* ga teng. Bu gaz bir kilomolining massasi nimaga teng?

177. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitda zichligi 1,43 kg/m^3 bo'lsa, bu gaziing C_v va C_p solishtirma issiqlik sig'imlari nimaga teng?

178. Agar biror gaz bir kilomolining massasi μ = 30 *kg/kmol* ga tengligi va uning uchun C_p/C_v = 1,4 nisbat ma`lum bo'lsa, gazning C_v va C_p solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

179. Qaldiroq gaz (vodorod bilan kislorodning portlovchi aralashmasi) ning issiqlik sig'imi shu gaz yonganda hosil bo'lgan suv bug'ining issiqlik sig'imidan necha marta katta? Masala: 1) V = const, 2) r = const hollar uchun yechilsin.

180. Agar kislorodning o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi 1050 *J/kg×K* ga teng bo'lsa, uning dissosiasiya darajasi nimaga teng?

181. Dissosiasiya darajasi 50% ga teng bo'lsa, bug'simon yodning C_v va C_p solishtirma issiqlik sig'imlari topilsin. Yod I_2 ning molyar massasi 254 *kg/kmol* ga teng.

182. Agar azot uchun $\frac{C_P}{C_V}$ nisbatning 1,47 ga tengligi malum bo'lsa, uning dissosiasiya darajasi nimaga tengligi topilsin.

183. 3 *kmol* argon va 2 *kmol* azotdan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas bosimda solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

184. 8 *g* geliy va 16 *g* kisloroddan iborat bo'lgan gaz aralashmasi uchun S_r / S_v nisbat topilsin.

185. Bir kilomol kislorod va bir necha kilomol argondan iborat bo'lgan gaz aralashmasining o'zgarmas hajmda solishtirma issiqlik sig'imi 430 *J/kg·K* ga teng. Gaz aralashmasida argondan qancha miqdor bor?

186. 3 *mol* argon va 5 *mol* kislorod aralashmasi uchun $\gamma = C_p / C_v$ nisbat aniqlansin.

187. 800 N/sm^2 bosimli 7°S temperaturali kislorod solingan 10 *l* sig'imli ballonni 15,5°S temperaturagacha isitilgan. Bunda gaz qancha issiqlik miqdorini yutadi?

188. t_1 = 15°S temperaturadagi qanchadir miqdorda azot qamalgan idish υ =100 *m/sek* tezlik bilan harakatlanib boradi. Agar idish to'satdan to'xtab qolsa va idish devoriga beriladigan issiqlik nazarga olinmasa, unda idishdagi gazning t_2 temperaturasi qancha bo'ladi?

189. Gaz holatidagi vodorodning dissosiasiyalanish darajasi α = 0,6. Shunday qisman dissosiasiyalangan vodorodning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

190. Dissosiasiyalanish darajasi α = 0,4 bo'lgan qisman dissosiasiyalangan gaz holatidagi azotning adiabata ko'rsatkichi aniqlansin.

191. Qisman dissosiasiyalangan gaz holatidagi xlorning adiabata ko'rsatkichi γ =1,55 bo'lsa, bunday gazning dissosilanish darajasi α aniqlansin.

192. Massasi m=160 *g* bo'lgan kislorodni ΔT=12 K ga qizdirishga Q = 1,76 *kJ* issiqlik miqdori sarflanadi. Jarayon qanday kechgan: o'zgarmas hajmdami yo o'zgarmas bosimdami?

193. 10°S temperaturada 10 *g* kislorod $3 \cdot 10^5$ N/m^2 o'zgarmas bosimda isitilgandan keyin gaz kengayib 10 *l* hajmni egallaydi. 1) gazning olgan issiqlik miqdori, 2) gaz molekulalarining isitilgandan oldingi va keyingi issiqlik harakati energiyasi topilsin.

194. 2 *l* hajmli yopiq idishda 10°S temperatrada 12 *g* azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 104 *mm sim. ust.* ga teng bo'lgan. Isitishda gazga qancha issiqlik miqdori berilgan?

195. 10^5 N/m^2 bosimda 2 *l* azot bor. 1) P = const bo'lganda, uning hajmini ikki baravar orttirish uchun, 2) V = const bo'lganda, uning bosimini ikki marta orttirish uchun qanchadan issiqlik miqdori berish kerak?

196. Yopiq idishda 27°S temperatura va 10^5 N/m^2 bosimda 14 *g* azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 5 marta ortgan. 1) gazning qanday temperaturagacha isitilganligi, 2) idishning hajmi, 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

197. 40 *g* kislorodni 16^0S dan 40^0S gacha isitish uchun 150 *kal* issiqlik sarf bo'lgan. Gaz qanday sharoitda isitilgan? (o'zgarmas hajmdami yoki o'zgarmas bosimdami?)

198. Yopiq idishda 10^5 N/m^2 bosimda 10 *l* havo bor. Idishdagi bosimni 5 marta orttirish uchun havoga qancha issiqlik berish kerak?

199. V = 2 *l* hajmli yopiq idishda zichligi r = 1,4 kg/m^2 ga teng azot bor. Shu sharoitda azotni $\Delta t = 100^0$ ga isitish uchun unga qancha = issiqlik miqdori berish kerak?

200. 3 *l* hajmli yopiq idishda 3 *atm* bosimda 27^0C temperaturali azot bor. Isitilgandan keyin idishdagi bosim 25 *atm*. gacha ko'tarilgan. 1) isitilgandan keyingi azotning temperaturasi, 2) azotga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

201. Biror miqdordagi gazni o'zgarmas bosimda 50^0 ga isitish uchun 160 *kal* issilik miqdori sarf qilish kerak. Agar shu miqdordagi gazni o'zgarmas hajmda 100^0 ga sovitilsa, 240 *kal* issilik miqdori ajraladi. Bu gaz molekulalari qanday sonli erkinlik darajasiga ega bo'lgan?

202. Yopiq idishda 7^0S temperaturali 10 *g* azot bor. 1) Azot molekulasining o'rtacha kvadratik tezligini ikki baravar orttirish uchun unga qancha issiqlik berish kerak? 2) Bunda temperatura necha marta ortadi? 3) bunda gazning idish devoriga bo'lgan bosimi necha marta ortadi?

203. 2 *l* hajmli yopiq idishda 10^5 N/m^2 bosimda 20^0S temperaturali geliy bor: 1) geliy temperaturasini 100^0 ga orttirish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak? 2) yangi temperaturada gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi qanday bo'ladi? 3) bosim qanday bo'lib qoladi? 4) geliy zichligi qanday bo'ladi? 5) uning molekulalari issilik harakatining energiyasi qanday bo'ladi?

204. Normal sharoitda 2 *l* hajmli yopiq idishda m gramm azot va m gramm argon bor. Bu gaz aralashmasini 100^0 ga isitish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak?

205. Havoni ideal gaz deb faraz qilib, xonadagi havo isitilganda, agar tashqi bosim o'zgarmas qolsa, uning ichki energiyasi o'zgarmasligini ko'rsating.

206. Xonadagi elektr isitgich biror vaqt ishlatib qo'yildi. Bunda xonadagi havo temperaturasi t_1 dan t_2 gacha ko'tarildi, bosim esa o'zgarmay, bino tashqarisidagi bosim bilan tengligicha qoldi. Havoni ideal gaz hisoblab, xonadagi havoning ichki energiyasi ortishiga sarf bo'lgan Q issiqlik miqdorini aniqlang.

207. Qandaydir politropik prosessda geliy 4 *l* boshlang'ich hajmdan oxirgi 1 *l* hajmgacha siqildi. Bunda gaz bosimi 1 *atm* dan 8 *atm* gacha ortgan. Agar geliyning boshlang'ich temperaturasi 300 K bo'lgan bo'lsa, xamma geliy massasi uchun issiqlik sig'imi C ni toping.

208. P bosim V hajmga proporsional bo'ladigan prosess uchun ideal gazning molyar issiqlik sig'imini hisoblang. Gazning C_v issiqlik sig'imi temperaturaga boliq emas.

209. V_1= 10 *l* hajmdan P = 5 *atm* bosimda V_2 = 20 *l* hajmgacha izobarik kengaygan bir *mol* bir atomli gazning ichki energiyasi o'zgarishi ΔU ni aniqlang.

210. 100^0 dan 250^0 S gacha o'zgarmas hajmda qizdirish uchun 75 *g* suv bug'iga qancha issiqlik miqdori (Q) berish kerak?

211. m_0 = 4,032 *g* vodorod m_1 = 32 *g* kislorod bilan aralashtirilgan. Ularning solishtirma issiqlik sig'imlari C_{p0} = 3,50 *kal /(g x K)* va C_{p1} = 0,218 *kal /(g x K)*. Bu aralashma o'zgarmas hajmda Δt^0= 20^0 S sovitilganda uning ichki energiyasi kamayishi ΔU ni aniqlang. Ikkala gaz uchun γ = 1,40.

V. Bolsman taqsimoti. Maksvell taqsimoti

Barometrik formula gaz bosimining bir jinsli og'irlik kuchi maydonida balandlikka qarab kamayishini ifodalaydi:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{RT}}, \qquad (1)$$

buyerda P_0 — gazning hq0 balandlikdagi bosimi, P — gazning h balandlikdagi bosimi, g — og'irlik kuchi tezlanishi, R — universal gaz doimiysi, T — mutlaq temperatura.

Bolsman taqsimoti — zarralarning kuch maydonidagi taqsimoti:

$$n = n_0 e^{-U/kT}, \qquad (2)$$

buyerda n — zarralar konsentrasiyasi, U — ularning potensial energiyasi n_0 — maydonning U=0 bo'lgan nuqtalaridagi konsentrasiyasi k — Bolman doimiysi.

Nisbiy tezliklari u dan uQdu gacha oraliqda bo'lgan molekulalar soni:

$$dN = \frac{4}{\sqrt{p}} \cdot N \cdot e^{-u^2} \cdot u^2 du, \qquad (3)$$

buyerda $u = \upsilon/\upsilon_e$ — nisbiy tezlik, tezlik υ ning eng katta ehtimolli tezlik $u_Э = \sqrt{\frac{2RT}{m}}$ ga nisbatiga teng.

Gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik tezligi:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{pm}} \qquad (4)$$

Maksvel taqsimotiga doir masalalaryechishda har xil u uchun $\frac{DN}{N \cdot Du}$ ning qiymati berilgan 1 — jadvaldan foydalanish qulaydir.

1 — jadval

u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$	u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$	u	$\frac{DN}{N \cdot Du}$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0.1	0.02	1.0	0.83	1.9	0.22
0.2	0.09	1.1	0.82	2.0	0.16
0.3	0.18	1.2	0.78	2.1	0.12
0.4	0.31	1.3	0.71	2.2	0.09
0.5	0.44	1.4	0.63	2.3	0.06
0.6	0.57	1.5	0.54	2.4	0.04
0.7	0.68	1.6	0.46	2.5	0.03
0.8	0.76	1.7	0.36		

Bazi bir masalalarda tezligi berilgan u tezlikning qiymatidan ortiq bo'lgan molekulalar soni N_x ni bilish talab qilinadi. 2 — jadvalda N_x / N ning qiymati berilgan, bunda N — molekulalarning umumiy soni.

2 — jadval

U	N_x / N	u	N_x / N
0	1,000	0,8	0,734
0.2	0.994	1.0	0.572
0.4	0.957	1.25	0.374

0.5	0.918	1.5	0.213
0.6	0.868	2.0	0.046
0.7	0.806	2.5	0.0057

Hisoblashlar aniqroq bo'lishi uchun yuqoridagi jadvalni millimetrli qog'ozda grafik ko'rinishida tasvirlab olish talab qilinadi.

Masalayechish namunalari

1−masala. Perren mikroskop yordamida muallaq gummigut zzrrachalar konsentrasiyasining balandlikka qarab o'zgarishini kuzatadi va barometrik formulani qo'llab, eksperimental ravishda Avogadro sonining qiymatinn topdi. Perren tajribalaridan birida qatlamlarning orasi 100 *mkm* bo'lganda pastki qatlamdagi muallaq gummigut zarrachalarning soni yuqori qatlamdagidan ikki marta ko'p ekanligini aniqladi. 20^0S temperaturada $0{,}3\cdot10^{-4}$ *sm* diametrli gummigut zarrachalari uning zichligidan 0,2 g/sm^3 ga kam bo'lgan suyuqlikka aralashtirilgan. Bu berilganlarga asosan Avogadro soni topilsin.

Echilishi. Barometrik formuladan foydalanamiz.

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{RT}} \qquad (1)$$

Konsentrasiya (hajm birligidagi zarrachalar soni) $n = \frac{p}{kT}$ ga teng, bundan

$$P = n\cdot k\cdot T \qquad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'yib, h_1 va h_2 balandliklar uchun mos keluvchi $n_1 = n_0 e^{-\frac{mgh_1}{RT}}$ va $n_2 = n_0 e^{-\frac{mgh_2}{RT}}$ larni hosil qilamiz, bundan

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{mg(h_1-h_2)}{RT}} = e^{-\frac{mg(h_2-h_1)}{RT}} \text{ yoki}$$

$$\ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{mg(h_2-h_1)}{RT}. \qquad (3)$$

Zarrachaning massasi $m = \frac{m}{N_0}$ bo'lganligidan, (3) formulani quyidagicha yozish mumkin: $\ln\frac{n_1}{n_2} = \frac{N_0 m(h_2-h_1)g}{RT}$, bundan, Arximed qonuniga asosan kiritilgan tuzatmani nazarga olgan holda oxirgi natijani hosil qilamiz:

$$N_0 = \frac{RT\ln\frac{n_1}{n_2}}{gV(r-r')(h_2-h_1)} = 6{,}1\cdot10^{26} \quad kmol^{-1},$$

bunda, ρ — gummigutning zichligi va r' − suyuqlikning zichligi.

2−masala. Idishda modda miqdori ν = 1,2 *mol* bo'lgan gaz saqlanadi. Bu gazni ideal gaz sifatida qarab, tezliklari υ eng katta ehtimoliy tezlik υ_e ning 0,001 qismidan kam bo'lgan molekulalar soni ΔN aniqlansin.

Yechilishi. Masalaniyechish uchun molekulalarning nisbiy tezliklar ($u = \upsilon/u_e$) bo'yicha taqsimotidan foydalanish qulay. Nisbiy tezliklari u dan u = du gacha oraliqda joylashgan molekulalarning soni

$$dN(u) = \frac{4N}{\sqrt{p}} e^{-u^2} u^2 du \qquad (1)$$

formula bilan aniqlanadi; bu yerda N — molekulalarning to'liq soni.

Masalaning shartiga ko'ra, bizni qiziqtiradigan molekulalarning maksimal tezligi $\upsilon_{max}=0{,}001\upsilon_e$ bundan $u_{max}= \upsilon_{max}/\upsilon_e= 0{,}001$. u ning bunday qiymatlari uchun (1) ifodani soddaroq ko'rinishga keltirish mumkin. Chindan ham u<<1 uchun $\mathbf{e^{-u2}} \approx 1-u^2$ ni olamiz. $u=(0{,}001)^2=10^{-6}$ qiymatni birga nisbatan etiborga olmay, (1) ifodani

$$dN(u) = \frac{dN}{\sqrt{p}} u^2 du \qquad (2)$$

ko'rinishda yozamiz. Bu ifodani u bo'yicha 0 dan u_{max} gacha chegarada integrallab, quyidagini olamiz:

$$\Delta N = \frac{4N}{\sqrt{p}} \int_0^{u_{max}} u^2 du = \frac{4N}{\sqrt{p}} \frac{u^3}{3}\Bigg|_0^{u_{max}} \quad \text{ёки} \quad \Delta N = \frac{4N}{3\sqrt{p}} u_{max}^3 \qquad (3)$$

(3) dagi molekulalar soni N ni modda miqdori va Avogadro doimiysi orqali ifodalab, ΔN ni hisoblab topamiz:

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 1{,}2 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 1{,}77} (10^{-3})^3 = 5{,}44 \cdot 10^{14} \text{ ta molekula.}$$

3–masala. Molekulalarning impulslar bo'yicha taqsimot funksiyasi *f(p)* ni bilgan holda impuls kvadratining o'rtacha qiymati $\overline{p^2}$ aniqlansin.

Yechilishi. Impuls kvadratining o'rtacha kiymati $\overline{p^2}$ ni o'rtacha qiymatni hisoblashning umumiy qoidasiga binoan aniqlash mumkin:

$$\overline{p^2} = \int_0^\infty p^2 f(p) dp / \int_0^\infty f(p) dp \qquad (1)$$

Molekulalarning impulslar buyicha taqsimot funksiyasi

$$f(p) = 4p \left(\frac{1}{2pmkT} \right)^{3/2} \cdot e^{-p^2/(2mkT)} \cdot p^2 \qquad (2)$$

ko'rinishga ega. Bu taqsimot funksiyasi allaqachon birga normallashtirilgan, yani $\int_0^\infty f(p) dp = 1$. Normallashtirishni hisobga olib, (1) formulani boshqacharoq ko'rinishda yozamiz:

$$\overline{p^2} = \int_0^\infty p^2 f(p) dp \qquad (3)$$

f(p) ning (2) formula bo'yicha ifodasini (3) formulaga qo'yamiz va p ga bog'liq bo'lmagan kattaliklarni integral belgicidan tashqariga chiqaramiz:

$$\overline{p^2} = 4p \left(\frac{1}{2pmkT} \right)^{3/2} \int_0^\infty p^4 e^{-p^2/(2mkT)} dp.$$

Bu integralda, $a = \frac{1}{2mkT}$ deb belgilab, uni quyidagi jadval integrali ko'rinishiga keltirish mumkin:

$$\int_0^\infty x^4 e^{-ax^2} dx = \frac{3}{8}\sqrt{p}\, a^{-5/2}.$$

Bizning holimizda bu quyidagini beradi:

$$\overline{p^2} = 4p\left(\frac{1}{2pmkT}\right)^{3/2} \cdot \frac{3}{8}\sqrt{p}\left(\frac{1}{2mkT}\right)^{-5/2},$$

soddalashtirish va qisqartirishlardan keyin quyidagi ifodani topamiz:

$$\overline{p^2} = 3mkT \qquad \text{ёки} \qquad \overline{\overline{p}} = \sqrt{3mkT}$$

Masalalar

212. Eng baland kosmik stansiya Armanistondagi Alagyos tog'ida 3250 *m* balandlikda joylashgan. Havoning shu balandlikdagi bosimi topilsin. Havoning temperaturasi o'zgarmas va 5°S ga teng deb hisoblansin. Bir kilomol havoning massasini 29 *kg/kmol* ga teng deb olinsin. Dengiz sathidagi havoning bosimi 760 *mm sim. ust.* ga teng.

213. Qanday balandlikda havoning bosimi dengiz sathidagi bosimining 75 % ini tashkil qiladi? Temperatura o'zgarmas va 0^0S ga teng deb hisoblansin.

214. Passajir samolyoti 8300 *m* balandlikda uchadi. Passajirlarni kislorod maskasi bilan taminlamaslik uchun kompressor yordamida 2700 *m* balandlikdagi bosimga teng doimiy bosim tutib turiladi. Kabina ichidagi va tashqaridagi bosimlarning farqi topilsin. Tashqi havoning o'rtacha temperaturasi 0^0S deb qabul qilinsin.

215. Oldingi masalada tashqaridagi havoniig temperaturasi -20^0S va kabinaning ichki temperaturasi +20°S bo'lsa, bu holda kabinadagi havoning zichligi tashqi havoning zichligidan necha marta katta bo'ladi?

216. 1 m^3 havoning: 1) Yerning sirtida, 2) Yer sirtidan 4 *km* balandlikda og'irligi qancha? Havoning temperaturasini o'zgarmas va 0^0S ga teng deb olinsin. Yer sirtida havoning bosimi 10^5 N/m^2 ga teng.

217. Yer sirtidan qancha h balandlikda atmosfera bosimi uning sirtidagidan ikki marta kichik bo'ladi? Havoning temperaturasi T=290 K va balandlikka bog'liq emas deb hisoblansin.

218. Uchayotgan vertolet kabinasidagi barometr p=90 *kPa* bosimni ko'rsatmoqda. Agar uchish maydonchasida barometr p=100 *kPa* bosimni ko'rsatgan bo'lsa, vertolet qanday balandlikda uchmoqda? Havoning temperaturasi T=290 K va balandlikka bog'liq emas deb hisoblansin.

219. Bosimning P=100 *Pa* ga o'zgarishiga mos keluvchi balandlikning o'zgarishi Δh quyidagi ikki hol uchun topilsin: 1) temperatura T=290 K va bosim p_1 =100 *kPa* bo'lgan Yer sirti yaqinida; 2) temperatura T_2=220 K, bosim p_2 =25 *kPa* bo'lgan biror balandlikda.

220. Uchayotgan tayyora kabinasidagi barometr hamma vaqt bir xil p=8 *kPa* bosimni ko'rsatdi, shuning natijasida uchuvchi h uchish balandligini o'zgarmas deb hisobladi. Lekin, havoning temperaturasi ΔT=1 K ga o'zgardi. Uchuvchi balandlikni

aniqlashda qanday hatolikka yo'l qo'ydi? Temperatura balandlikka bog'liq emas va Yer sirtidagi bosim p_0=100 *kPa* deb hisoblansin.

221. Avogadro sonini aniqlash uchun Perren suvda muallaq suzib yurgan sharsimon gummigut zarralarining balandlik bo'yicha taqsimlanishini o'lchadi. U bir—biridan 30 *mkm* masofada joylashgan qatlamlardagi zarralar sonining nisbati 2,08 ga teng ekanini topdi. Zarralarning zichligi ρ = 1,194 g/sm^3, suvniki ρ_0 = 1 g/sm^3 Zarralar radiusi r = 0,212 *mkm* ga teng. Shu berilganlar asosida Avogadro soni N ni hisoblang. Suvning temperaturasi t = 18°S.

222. Havoda muallaq turgan chang zarralari m = $10^{-18}g$ massaga ega. Balandlik Δh = 10 *m* ga ortganda ularning konsentrasiyasi necha marta kamayadi? Havoning temperaturasi T = 300 K.

223. Har birining massasi m=10^{-12} *g* dan bo'lgan bir xil zarralar kuchlanganligi *g* = 0,2 *mkN/kg* bo'lgan bir jinsli gravitasion maydonda taqsimlangan. Bir—biridan Δz =10 *m* uzoqlikda bo'lgan ekvipotensial sathlardagi zarralar konsentrasiyasining nisbati % larda aniqlansin. Temperatura barcha qatlamlarda bir xil va T = 290 K deb hisoblanadi.

224. Havoda muallaq turgan chang zarralari har birining massasi m=1 *ag* dan bo'lib, h_1=1 *m* balandlikdagi chang zarralari konsentrasiyasi n_1 ning ularning h_0 = 0 balandlikdagi konsentrasiyasi n_0 ga nisbati 0,787 ga teng. Havoning temperaturasi T = 300 K. Shu berilganlar buyicha Avogadro doimiysi N_A ning qiymati topilsin.

225. Agar bir—biridan ΔZ=1 *m* masofada bo'lgan ikkita satx—lardagi zarralar konsentrasiyalarining nisbati n_1/n_2 = e bo'lsa, tashqi bir jinsli og'irlik kuchi maydonida bo'lgan zarraga tasir etuvchi P kuch aniqlansin. Temperatura T hamma joyda bir xil va 300 K ga teng deb hisoblansin.

226. Yer sirtidagi kuzatuvchi h = 100 *m* balandlikka ko'tarilganda P=100 *kPa* atmosfera bosimi qanchaga kamayadi? Havoning temperaturasi T=290 K va balandlikka bog'liq emas deb hisoblansin.

227. Qanday balandlikda gaz dengiz sathidagi zichligining 50% zichligidek zichlikka ega bo'ladi? Temperaturani o'zgarmas va 0°S ga teng deb hisoblansin. Masalani: 1) havo va 2) vodorod uchun yeching.

228. Sentrifuganing rotori ω burchak tezlik bilan aylanmoqda. Bolsmanning taqsimot funksiyasidan foydalanib sentrifuga rotoridagi m massali zarralar konsentrasiyasi n ning taqsimoti aylanish o'qidan uzoqlik r ning funksiyasi sifatida aniqlansin.

229. Rotorining radiusi 0,5 *m* bo'lgan sentrifugada nisbiy molekulyar massasi M_r =10^3 bo'lgan T = 300 K temperaturadagi gazsimon modda bor. Agar rotor ν = 30 s^{-1} chastota bilan aylanayotgan bo'lsa, rotor devorlari yonidagi va uning markazidagi molekulalar konsentrasiyalarining nisbati n_a/n_0 aniqlansin.

230. 132^0S temperaturali kislorod gazi molekulalarining o'rtacha va eng katta ehtimolli tezligi aniqlansin.

231. Biror molekula tezligining eng ko'p ehtimolli tezlikka teng bo'lib qolishining ehtimoli qanchaga teng?

232. 300 *mm sim. ust.* bosimda zichligi 0,3 *g/l* bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kvadratik va ehtimolligi eng katta tezliklari topilsin.

233. Qanday temperaturada azot molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi ularning ehtimolligi eng katta tezligidan 50 *m/s* ga ortiq bo'ladi?

234. 0°S da kislorod molekulalarining qancha qismi 100 *m/s* dan 110 *m/s* gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi?

235. 150°S da azot molekulalarining qancha qismi 300 *m/s* dan 325 *m/s* gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi?

236. 0°S da vodorod molekulalarining qancha qismi 2000 *m/s* dan 2100 *m/s* gacha oraliqdagi tezliklarga ega bo'ladi?

237. Tezliklari $\sqrt{\bar{u}^2}$ dan $\sqrt{\bar{u}^2}+\Delta\upsilon$ intervalda yotgan molekulalarning ΔN_1 soni tezliklari υ_e dan $\upsilon_e+\Delta\upsilon$ intervalda yotgan molekulalarning soni ΔN_2 dan necha marta kichik?

238. T temperaturada azot molekulalarining qanday qismi $\upsilon_e+\Delta\upsilon$ intervaldagi tezliklarga ega bo'ladi, bunda $\Delta\upsilon$ = 20 *m/s* ? Masala: 1) T = 400 K va 2) T = 900 K uchun yechilsin.

239. t=150 S temperaturada azot molekulalarining qanday qismi υ_1 = 300 *m/s* dan υ_2 = 800 *m/s* intervaldagi tezliklarga ega bo'ladi?

240. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasidan eng katta extimolli tezlikni topish formulasi keltirib chiqarilsin.

241. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasi yordamida Molekulalarning nisbiy tezliklar $u(u=\upsilon/\upsilon_e)$ bo'yicha taqsimotini ifodalovchi funksiya olinsin.

242. Ideal gazning muayyan molekulasining $0{,}5\cdot\upsilon_e$ tezlikdan ko'pi bilan 1 % ga farq qiladigan tezlikka ega bo'lish ehtimolligi qanday bo'ladi?

243. Ideal gazning muayyan molekulasining $2\upsilon_e$ tezlikdan ko'pi bilan 1 % ga farq qiladigan tezlikka ega bo'lish ehtimolligi topilsin.

244. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasidan υ tezliklari eng katta ehtimolli tezlik υ_e dan juda kichik bo'lgan molekulalar ulushi w ni aniqlovchi formula keltirib chiqarilsin.

245. Qandaydir miqdor gazning o'rtacha kvadratik tezlikdan kichik, ammo o'rtacha tezlikdan katta tezlikka ega bo'lgan molekulalar soni har qanday temperaturada birday bo'lishini ko'rsating.

246. Normal sharoitda 1 sm^3 hajmdagi va tezliklari: a) 99 *m/s* bilan 101 *m/s* orasida; b) 499 *m/s* bilan 501 *m/s* orasida bo'lgan azot molekulalari soni topilsin.

247. Qanday temperaturada azotning 299 *m/s* bilan 301 *m/s* intervaldagi tezliklarga ega bo'lgan molekulalarining soni 599 *m/s* bilan 601 *m/s* intervaldagi tezliklarga ega bo'lgan molekulalar soniga teng bo'ladi?

248. Molekulalar umumiy sonining qanday qismi: 1) ehtimolligi eng katta tezlikdan katta tezliklarga, 2) ehtimolligi eng katta tezlikdan kichik tezliklarga ega bo'ladi?

249. Ballonda 2,5 *g* kislorod bor. Tezliklari o'rtacha kvadratik tezlikdan katta bo'lgan kislorod molekulalarining soni topilsin.

250. Tezliklari noldan to eng katta ehtimolli tezlik $\upsilon_э$ ning yuzdan bir bo'lagigacha oraliqda joylashgan ideal gaz molekulalarining nisbiy soni w aniqlansin.

251. Molekulalarning tezliklar bo'yicha taqsimot funksiyasidan o'rtacha kvadratik tezlik $\bar{\upsilon}_к$ aniqlansin.

252. Normal sharoitdagi vodorod V=1 sm^3 hajmni egallab turibdi. Shu xajmda biror u_{max} = 1 *м/с* dan kichik tezlikka ega bo'lgan molekulalar soni N aniqlansin.

253. Idishda 1600 K temperaturali 8 *g* kislorod bor. Ilgarilama harakatining kinetik energiyasi $W_0 = 6{,}65\cdot10^{-20}$ *J* dan yuqori bo'lgan kislorod molekulalarining soni qanday?

254. Zaryadli zarrachaning energiyasi ko'pincha elektron—voltlarda o'lchanadi. 1 *elektron—volt* (1 *eV*) — elektronning potensiallar ayirmasi 1 V bo'lgan elektr maydonidan o'tganda olgan energiyasidir. 1 *eV* = $1{,}6\cdot10^{-19}$ *J* ekanligini ko'rsatish mumkin. 1) Qanday temperaturada molekulalar ilgarilama harakatining

o'rtacha kinetik energiyasi 1 *ev* ga tengligi, 2) qanday temperaturada hamma molekulalar 50% ining ilgarilama harakatining o'rtacha kinetik energiyask 3 *eV* dan yuqori bo'lishligi topilsin.

255. Kaliy atomlarining ionizasiya ishi 10^5 *kkal/ kg×atom* ga teng. Ilgarilama harakatdagi barcha gaz molekulalari 10% ining energiyasi kaliyning bitta atomini ionizasiyalash uchun zarur bo'lgan energiyadan qanday temperaturada katta bo'lishligi topilsin.

256. Ideal gaz molekulalarining eng katta ehtimolli impulsi r_e formulasi chiqarilsin.

257. Impulslari eng katta etimolli impuls p_e ga teppa−teng bo'lgan ideal gaz molekulalarining soni N topilsin.

258. Ideal gaz molekulasi impulsi tashkil etuvchisining o'rtacha qiymati $\overline{p}_x$ ni aniqlovchi formula chiqarilsin.

259. Energiyasi eng katta ehtimolli energiyaga teng bo'lgan ideal gaz molekulasi impulsining ifodasi topilsin.

260. Molekulalarning ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi ε_n ning ifodasi topilsin. Molekulalarning energiyalar buyicha taqsimot funksiyasi malum deb hisoblansin.

261. Bir xil temperaturada energiyasi molekula ilgarilanma xarakat o'rtacha energiyasidan 1 % dan ko'p farq qilmaydigan ideal gaz molekulalarining ulushi *w* aniqlansin.

262. Energiyalari $\varepsilon_1=0$ dan $\varepsilon_2 = 0{,}01kT$ gacha oraliqda joylashgan molekulalarning ulushi aniqlansin.

263. Kinetik energiyalari noldan $0{,}01\varepsilon_e$ ga teng qiymatgacha oraliqda joylashgan ideal gaz molekulalarining nisbiy soni *w* aniqlansin (ε_e— molekulalar kinetik energiyasining eng katta ehtimolli qiymati).

264. Tezliklari 3000 dan 3010 *m/s* oraliqda bo'lgan vodorod molekulalari soni N_1 ning tezliklari 1500 dan 1510 *m/s* oraliqda bo'lgan vodorod molekulalari soni N_2 ga nisbatini aniqlang. Vodorodning temperaturasi 300^0S ga teng.

265. Maksvell taqsimotidan foydalanib, gaz molekulalari tezligi x−komponentasining o'rtacha kvadratini toping. Bundan gaz molekulalari ilgarilanma harakatining bir erkinlik darajasiga to'g'ri keluvchi o'rtacha kinetik energiyani toping.

266. 227^0C temperaturadagi xlor molekulalarining eng katta ehtimolli, o'rtacha va o'rtacha kvadratik tezliklarini toping.

267. Agar gaz molekulalarining tezlik birligi sifatida eng katta ehtimolli tezlik qabul qilinsa, u holda tezliklarining qiymatlari u va uQdu oraliqda bo'lgan molekulalar soni gazning temperaturasiga bog'liq bo'lmasligini ko'rsating.

268. Adiabatik siqilganda yoki kengayganda bir atomli ideal gaz molekulalarining o'rtacha tezligi bosimga qanday bog'liq bo'ladi?

VI. Ko'chish hodisalari

Gaz molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi:

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}pd^2n}, \qquad (1)$$

buyerda d — molekulaning effektiv diametri, n — hajm birligidagi molekulalar soni.

Barcha molekulalarning vaqt birligi ichida o'rtacha umumiy to'qnashuvlari soni:

$$Z = \frac{1}{2}\bar{z} \bullet N, \qquad (2)$$

buyerda $\bar{z}$ — har bir molekulaning qolgan molekulalar bilan vaqt birligi ichidagi o'rtacha to'qnashuvlari soni.

Diffuziya uchun Fik qonuni:

$$dm = -D\frac{d\rho}{dx}\Delta Sdt \qquad (3)$$

buyerda dm — diffuziya natijasida ΔS — yuzali sirt orqali dt vaqtda ko'chirilgan gaz massasi, dρ/dx — zichlik gradienti, D — diffuziya koeffisienti bo'lib, quyidagiga teng:

$$D = \frac{1}{3}\bar{u} \cdot \bar{l}, \qquad (4)$$

$\bar{u}$ — molekulalarning o'rtacha arifmetik tezligi.

Gazning vaqt birligi ichida ko'chirilgan impulsi gazdagi ichki ishqalanish kuchiga teng:

$$F = -\eta\frac{d\upsilon}{dx}\Delta S \qquad (5)$$

buyerda $\frac{du}{dx}$ — yuzaga ΔS ga tik yo'nalishdagi gaz oqimining tezlik gradienti, η — ichki ishqalanish (qovushoqlik) koeffisienti bo'lib, quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$\eta = \frac{1}{3}r\bar{u}\bar{l} \qquad (6)$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik natijasida dt vaqt ichida ko'chirilgan issiqlik miqdori quyidagiga teng:

$$dQ = c\frac{dT}{dx}\Delta S \bullet dt, \qquad (7)$$

bu yerda $\frac{dT}{dx}$ – yuza ΔS ga tik yo'nalishdagi temperatura gradienti, χ — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti, u

$$c = \frac{1}{3}r\bar{u}\bar{l}C_v \qquad (8)$$

ga teng. Bu yerda C_v — o'zgarmas hajmdagi gazning solishtirma issiqlik sig'imi.

Masalayechish namunalari

1− masala. 0°S temperatura va biror bosimda kislorod molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li 9,5 $\cdot 10^{-8}$ *m* ga teng. Agar o'zgarmas temperaturada idishdagi kislorodning bir qismini nasos bilan dastlabki bosimning 0,01 *mm* qismiga teng bo'lganga qadar so'rib olinsa, kislorod molekulalarinipg 1 *s* dagi o'rtacha to'qnashishlari soni nimaga teng?

Yechilishi. Kislorod molekulalarining bir sekunddagi to'qnashishlar soni $\bar{z} = \frac{\bar{u}}{\bar{l}_2}$ formuladan topiladi. Bunda $\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{pm}}$ va $\bar{\lambda}_2 = \bar{\lambda}_1 \frac{p_1}{p_2}$.

Shunday qilib,

$$\bar{z} = \frac{\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}}{\bar{\lambda}_1 \frac{p_1}{p_2}}. \qquad (1)$$

Shartga ko'ra $\frac{P_1}{P_2} = 100$, $\bar{l}_1 = 9{,}5 \cdot 10^{-3}$ *m*, T = 273 K. Bu qiymatlarni (1) ga qo'ysak, $\bar{z}$ = 4,5·19^7 s^{-1} bo'ladi.

2−masala. Uzunliklari *l* = 10 *sm* dan bo'lgan ikkita yupqa devorli koaksial silindrlar umumiy o'qlari atrofida erkin aylanishadi. Katta silindrning radiusi R = 5 *sm*. Silindrlar orasidagi masofa d=2 *mm*. Ikkala silindr ham normal sharoitda havoda turibdi. Ichki silindrni o'zgarmas $\nu_1 = 20\ s^{-1}$ chastota bilan aylantirildi. Tashqi silindr tormozlangan. Bo'shatilganidan qancha vaqt o'tganidan keyin tashqi silindr $\nu_2 = 1\ s^{-1}$ aylanish chastotasiga ega bo'lishi aniqlansin. Hisoblashlarda silindrlar nisbiy tezliklarining o'zgarishi inobatga olinmasin. Tashqi silindrning massasi m = 100 *g*.

Yechilishi. Ichki silindr aylanganda havo qatlami uning orqasidan ergashadi va aylanma harakatda qatnasha boshlaydi. Amalda bu silindr sirti yonidagi havo qatlami vaqt o'tishi bilan silindr sirtidagi nuqtalar tezligidek, yani $\bar{u} = 2\pi\nu_1(R-d)$ chiziqli tezlikni oladi. d << R ekanligidan, quyidagini taxminan yozish mumkin:

$$\upsilon \approx 2\pi\nu_1 R. \qquad (1)$$

Ichki ishqalanish natijasida impuls momenti gazning qo'shni qatlamlariga va pirovardida tashqi silindrga uzatiladi. Δt vaqt oralig'ida tashki silindr *l* = kR impuls momentini oladi, bunda k tashqi silindr Δt vaqtda olgan impuls. Bundan

$$k = L/R \qquad (2)$$

Boshqa tomondan

$$k = \eta \frac{d\upsilon}{dz} S \cdot \Delta t \qquad (3)$$

buyerda η− qovushoqlik koeffisienti; $\frac{du}{dz}$ - tezlik gradienti; S —silindr sirtining yuzasi (S=2πR·l).

(2) va (3) ifodalarning o'ng tomonlarini tenglashtirib va topilgan tenglikdan izlanayotgan vaqt oralig'i Δt ni ifodalab quyidagini olamiz.

$$Dt = \frac{L}{hR\frac{du}{dz}\cdot S} \qquad (4)$$

Bu formulaga kiruvchi L, $\frac{du}{dz}$ *ва* S kattaliklarni topamiz. Impuls momenti $l = I\omega_2$. Bunda I− silindrning inersiya momenti ($I = mR^2$); m − uning massasi; ω_2 — tashqi silindrning burchak tezligi ($\omega_2=2\pi\nu_2$). Buni hisobga olib, quyidagini yozamiz:

$$L = mR^2 \cdot 2\pi\nu_2 = 2\pi mR^2\nu_2$$

Tezlik gradienti $\frac{du}{dz} = \frac{u}{z} = \frac{u}{d}$. Silindrning yuzasi $S q 2\pi\cdot R\cdot l$, L, $\frac{dv}{dz}$ *ва* S larning ifodalarini (4) ga qo'ysak,

$$\Delta t = \frac{md\nu_2}{\eta v l}.$$

Buyerda v ni (1) bo'yicha almashtirib, quyidagini topamiz:

$$\Delta t = \frac{md\nu_2}{2\pi\eta Rl\cdot\nu_1}. \qquad (5)$$

Havoning dinamik qovushoqligi η = 17,2 *mkPa×s* = $1{,}72\cdot10^{-5}$ *Pa×s*

(5) ga kiruvchi kattaliklarning qiymatlarini qo'yib, hisoblasak,

$$\Delta t = \frac{100\cdot10^{-3}\cdot2\cdot10^{-3}\cdot1}{2\cdot3{,}14\cdot1{,}72\cdot10^{-5}\cdot5\cdot10^{-2}\cdot10\cdot10^{-2}\cdot20}\ s = 18{,}5\ s.$$

3−masala. Tashqi radiusi r_2 = 10 *sm*, ichki radiusi r_1 = 9 *sm* va balandligi h = 20 *sm* bo'lgan silindrik termos muz bilan to'ldirilgan. Muzning temperaturasi 0°S; tashqaridagi havoning temperaturasi esa 20°S. 1) termosning ikki devori orasidagi havoniig bosimi eng ko'pi bilan qanday bo'lguncha issiqlik o'tkazuvchallik koeffisienti bosimga bog'liq bo'lib qolaveradi? Havo molekulasining diametrini $\sigma = 3\cdot10^{-8}$ *sm* ga teng, termos devorlari orasidagi havoning temperaturasini esa muz va tashqi muhit temperaturalarining o'rtacha arifmetik qiymatiga teng deb olinsin. 2) bosim; a) 760 *mm sim. ust.* va 6) 10^{-4} *mm sim. ust.* ga teng bo'lganda termos devorlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti topilsin (μ = 29 *kg/kmol*). 3) issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli 9,5 *sm* o'rtacha radiusli termosning yon sirtidan 1 *min* davomida qancha issiqlik miqdori o'tadi? Masala: a) 760 *mm sim. ust.* va b) 10^{-4} *mm sim. ust.* bosimlar uchunyechilsin.

Yechilishi. 1) Havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti $\bar{l} = d$ bo'lganida bosimga bog'liq bo'la boshlaydi, bunda d − termos devorlari orasidagi masofa. Ma`lumki $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p}$, bundan $\bar{l} = d$ bo'lganda $p = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 d}$ ga ega bo'lamiz. Masalada berilganlarning son qiymatlarini o'rniga qo'ysak, P = $7{,}6\cdot10^{-3}$ *mm sim. ust.* ekanligini topamiz. 2) a) χ = $13{,}1\cdot10^{-3}$ *Vt/m×grad*. b) Agar P = 10^{-4} *mm sim. ust.*

bo'lsa, erkin yugurish yo'lining uzunligi $\overline{l}$ termos devorlari orasidagi masofaga teng bo'ladi. Unda $\chi = 17{,}8 \cdot 10^{-5}$ Vt/m • grad.

3) Ma`lumki $Q = \chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t$. Lekin $\Delta S = 2prl$ bunda $r = \frac{r_1 + r_2}{2}$. Unda $Q = \chi \frac{\Delta T}{\Delta x} 2prl\Delta t_1$. Masalada berilganlariiig son qiymatlarini o'rniga qo'ysak: a) Q = 188 *J* = 45 *kal* va b) C = 25,5 *J* = 0,61 *kal* bo'ladi.

Masalalar

269. p=0,1 *Pa* bosim va T=100 K temperaturada vodorod molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi topilsin.

270. Agar gazning temperaturasi T=300 K bo'lsa, qanday P bosimda azot molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi 1 *m* bo'ladi?

271. V=10 *l* sig'imli ballonda massasi m=1 *g* bo'lgan vodorod saqlanadi. Molekulalar erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi aniqlansin.

272. T=280 K temperaturada azot saqlanayotgan d=20 *sm* diametrli kolbada hosil qilingan P=100 *mkPa* bosimli vakuumni yuqori vakuum deb hisoblash mumkinmi?

273. Ikki molekulaning o'rtacha nisbiy harakat tezligi $\sqrt{2}\overline{\upsilon}$, bunda $\overline{\upsilon}$ idish devorlariga nisbatan o'rtacha tezlik. Shunga asosan ikki molekula tezligi orasidagi burchakning o'rtacha qiymati haqida qanday xulosa chiqarish mumkin?

274. Agar azot molekulalarining normal bosimdagi o'rtacha erkin yugurish yo'li $6 \cdot 10^{-6}$ *sm* bo'lsa, bosim qancha bo'lganda u 1 *mm* ga teng bo'ladi?

275. Qanday bosimdagi vodorod molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi 2,5 *sm* bo'ladi? Temperatura − 68°S.

276. 2 *mm sim. ust.* bosimli va 27^0S temperaturali kislorod molekulalarining erkin yugurishining o'rtacha vaqti topilsin.

277. Agar 100^0S temperaturada karbonat angidrid molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li $8{,}7 \cdot 10^{-2}$ *sm* ga teng bo'lsa; molekulalarning 1 *s* dagi o'rtacha to'qnashishlari soni topilsin.

278. Normal sharoitda 0,5 *l* hajmli idishda kislorod bor. Bu hajmdagi kislorod molekulalarining 1 *s* dagi o'zaro to'qnashish−larining umumiy soni topilsin.

279. Agar ikki atomli gazning hajmi adiabatik ravishda 2 baravar orttirilsa, gaz molekulalarining 1 *s* dagi to'qnashishlar soni necha marta kamayadi?

280. Zichligi $\rho = 2{,}1 \cdot 10^{-2}$ kg/m^3 bo'lganda geliy atomlarining o'rtacha erkin yugurish yo'li topilsin.

281. 0^0S temperatura va biror bosimda kislorod molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li $9{,}5 \cdot 10^{-8}$ *m* ga teng. Agar o'zgarmas temperaturada idishdagi kislorodning bir qismini nasos bilan dastlabki bosimning 0,01 *mm* qismiga teng bo'lganga qadar so'rib olinsa, kislorod molekulalarining 1 *s* dagi o'rtacha to'qnashishlari soni nimaga teng bo'ladi?

282. Normal sharoitda V=1 mm^3 hajmni egallab turgan vodorodning barcha molekulalari orasida t=1 *s* davomida bo'ladigan xamma urilishlar soni N topilsin.

283. Gaz razryadli trubkada T=300 K temperatura va p=1 *Pa* bosimda neon bor. t=1 *s* vaqtda yuzasi S= 1 sm^2 bo'lgan disk shakliga ega katodga uriluvchi neon atomlarining soni N topilsin

284. 1) Izoxorik; 2) izobarik jarayonlar uchun ideal gaz molekulasi 1 *s* da to'qnashishlari o'rtacha sonining temperatura T ga bog'liqligi topilsin. Bu bog'lanishlar grafiklarda tasvirlansin.

285. Ma`lum bir sharoitda gaz molekulalarshshng o'rtacha erkin yugurish yo'li $1{,}6\cdot10^{-7}$ *m* ga va o'rtacha arifmetik tezligi esa 1,95 *km/s* ga teng. Agar berilgan temperaturada gazning bosimini 1,27 marta kamaytirilsa, bu gaz molekulalarining 1 *s* dagi o'rtacha to'qnashishlar soni nimaga teng bo'ladi?

286. Idishda zichligi ρ_1 = 1,7 *kg/m*^{3}, shu sharoitda molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li $\overline{l}$ = 7,9 · 10^{-6} *sm* ga teng bo'lgan karbonat angidrid gazi bor. Karbonat angidrid gazi molekulalarining diametri topilsin.

287. 10^0S temperatura va 1 *mm sim. ust.* bosimda azot molekulalarining ikkita ketma—ket to'qnashishlari orasidagi o'rtacha vaqt topilsin.

288. Idishdagi havoni bosimi 10^{-6} *mm sim. ust.* gacha so'rib olingan. Bu holda idishdagi havoning zichligi, idishning har bir 1 *sm*^{3} hajmidagi molekulalarining soni va molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li topilsin. Havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* va bir kilomol havo massasi μ = 29 *kg/kmol* ta teng deb hisoblansin. Havo temperaturasi 17^0S ga teng.

289. 15 *sm* diametrli sferik idishdagi gazning molekulalari bir—biri bilan to'qnashmasligi uchun 1 *sm*^{3} hajmda eng ko'pi bilan qancha molekula bo'lishi kerak? Gaz molekulasining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* ga teng deb olinsin.

290. Gazning molekulalari bir—biri bilan to'qnashmasligi uchun diametri: 1) 1 *sm*, 2) 10 *sm* va 3) 100 *sm* bo'lgan sferik idishning ichida qanday bosim hosil qilish kerak? Gaz molekulasining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* ga, gazning temperaturasini 0^0S ga teng deb olinsin.

291. Razryad nayida katod bilan anodning orasi 15 *sm* ta teng. Elektronlar katoddan anodgacha bo'lgan yo'lda havoning molekulalari bilan to'qnashmasligi uchun razryad nayida qanday bosim hosil qilish kerak? Temperatura 27^0S ga teng. Havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* ga teng deb olinsin. Gazda elektronlarning o'rtacha erkin yugurish yo'li shu gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'lidan 5,7 marta katta.

292. 1 *l* hajmli sferik kolbada azot bor. Azotning zichligi qanday bo'lganda azot molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li idishning o'lchamidan katta bo'ladi?

293. Agar biror gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li $5\cdot10^{-4}$ *sm* va o'rtacha kvadratik tezligi 500 *m/s* bo'lsa, shunday sharoitda gaz molekulasshshng 1 *s* dagi o'rtacha to'qnashishlar soni topilsin.

294. Normal sharoitda 1 *sm*^{3} hajmdagi azot molekulalarining 1 *s* ichidagi barcha o'zaro to'qnashishlari soni aniqlansin.

295. Normal sharoitda azotning erkin yugurish o'rtacha yo'li 6· 10^{-6} *sm* ga teng. Biror miqdordagi azot normal sharoitdan 300^0S temperaturali holatga o'tgan. Agar o'tish prosessi quyidagicha, yani: a) izoxorik; b) izobarik; v) adiabatik tarzda bajarilsa, unda azotning yangi holatidagi erkin yugurish yo'li qancha?

296. Gaz molekulasining erkin yugurish yo'li o'rtacha uzunligi $\overline{l}$ ni hisoblashni soddalashtirish uchun qaralayotgan, tezligi issiklik harakati o'rtacha tezligi $\overline{u}$ ga teng bo'lgan molekuladan boshqa hamma molekulalar tinch holatda turibdi, deb faraz qilish mumkin. Bu soddalashtirishdan foydalanib $\overline{l}$ ni, shuningdek, molekulalarning birlik vaqt ichida to'qnashishlarining o'rtacha soni $\overline{z}$ ni hisoblab toping. Molekulalarni d diametrli qattiq sharcha deb faraz qiling.

297. Atmosfera bosimidagi vodorod uchun erkin yugurish yo'li uzunligi $1{,}28\cdot10^{-5}$ *sm* ga teng. Vodorod molekulasining effektiv diametri d ni toping.

298. Normal sharoitda 1 *sm*^{3} dagi kislorod molekulalari orasida har 1 *s* da qancha to'qnashuv ro'y beradi? Kislorod molekulasining effektiv diametri d = $3{,}1\cdot10^{-8}$ *sm* ga teng.

299. Ideal gaz o'zgarmas bosimda qizdirilmoqda. Gaz molekulalarining erkin yugurish yo'li uzunligi va bir sekunddagi to'qnashishlari soni $\overline{z}$ temperatura ortishi bilan qanday o'zgaradi?

300. Ideal gaz izotermik siqilmokda. $\overline{l}$ va $\overline{z}$ ning bosimga qanday bog'liq bo'lishini aniqlang.

301. Ideal gaz adiabatik siqilmokda. $\overline{l}$ va $\overline{z}$ ning bosimga qanday bog'lik bo'lishini aniqlang.

302. Agar normal sharoitda vodorod molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li $1{,}6\cdot10^{-7}$ *m* ga teng bo'lsa, shunday sharoitda vodorodning diffuziya koeffisienti topilsin.

303. Normal sharoitda geliyning diffuziya koeffisienti topilsin.

304. Agar yuzga tik yo'nalishdagi azotning zichlik gradienti 1,26 kg/m^4 ga teng bo'lsa, diffuziya natijasida 100 sm^2 yuzdan 10 *s* da o'tgan azotning miqdori topilsin. Azotning temperaturasi 27^0S; azot molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li 10^{-5} *sm*.

305. Agar geliyning 0^0S temperatura va 760 *mm sim. ust.* bosimda ichki ishqalanish koeffisienti (dinamik yopishqoqligi) $1{,}3\cdot10^{-4}$ $g/sm\times s$ ga teng bo'lsa, shunday sharoitda geliy molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li topilsin.

306. Agar normal sharoitda azotning diffuziya koeffisienti 0,142 sm^2/s ga teng bo'lsa, shunday sharoitda azotning ichki ishqalanish koeffisienti topilsin.

307. 10^0S temperatura va 760 *mm sim. ust.* bosimda havoning diffuziya va ichki ishqalanish koeffisientlari topilsin. Havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-10}$ *m* ga teng deb olinsin.

308. Ma`lum bir sharoitda vodorodning diffuziya va ichki ishqalanish koeffisientlari mos ravishda D = 1,42 sm^2/s, va $\eta = 8{,}5\cdot10^{-6}$ $N\times s/m^2$ ga teng. Shunday sharoitda 1 m^3 hajmdagi vodorod molekulalarining soni topilsin.

309. t = 0^0S temperaturada kislorodning diffuziyasi koeffisienti D = 0,19 sm^2/s. Kislorod molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi aniqlansin.

310. Azotning diffuziyasi koeffisienti; 1) normal sharoitda: 2) P = 100 *Pa* bosim va T = 300 *K* temperaturada hisoblansin.

311. Bir xil sharoitda bo'lgan gaz holatidagi vodorodning diffuziyasi koeffisienti gaz holatidagi kislorodning diffuziyasi koeffisienti dan necha martaga farq qilishi aniqlansin.

312. Normal sharotidagi kislorodning qovushoqlik koeffisienti hisoblansin.

313. 300 *K* temperatura va 100 *kPa* bosimda qovushoqlik koeffisienti η = 17 $mkPa\times s$ bo'lgan azot molekulalari erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi topilsin.

314. Normal sharoitlarda geliyning diffuziyasi koeffisienti $D = 1{,}06\cdot10^{-4}$ m^2/s. Shu sharoitda geliyning dinamik qovushoqligi η topilsin.

315. 1) Izobarik; 2) izoxorik jarayonlar uchun dinamik qovushoklik η ning temperatura T ga bog'liqligi aniqlansin. Bu bog'lanishlar grafiklarda tasvirlansin.

316. Biror gazning qovushoqligi shu gazning 0,9 *mm* qalinlikdagi qatlami bilan bir—biridan ajralgan ikki plastinkaning o'zaro ishqlanish kuchini o'lchash usuli bilan aniqlanadi. Gazning bosimi 2,8 N/m^2 bo'lganda gazning qovushoqligi $0{,}80\cdot10^{-5}$ $N\times s/m^2$ bo'lgan, bosim 10,9 N/m^2 va 16,0 N/m^2 bo'lganda qovushqoqlik $1{,}9\cdot10^{-5}$ $N\times s/m^2$ ga teng bo'lib chiqqan. Normal bosimli ushbu gaz molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li uzunligi taxminan qancha?

317. Kislorodning diffuziya va ichki ishqalanish koeffisientlari mos ravishda $D=1{,}22\cdot10^5$ m^2/s va $\eta = 1{,}95\cdot10^{-5}$ $kg/m\times s$ ga teng. Shunday sharoitda 1) kislorodning

zichligi, 2) kislorod molekulalarining o'rtacha erkin yugurish yo'li va 3) molekulalarining o'rtacha arifmetik tezligi topilsin.

318. 0,3 *mm* diametrli yomg'ir tomchisi qanday eng katta tezlikka erisha oladi? Havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-10}$ *m* ga, havoning temperaturasini 0^0S ga teng deb olinsin. Yomg'ir tomchisi uchun Stoks qonuni o'rinli deb hisoblansin.

319. Samolyot 360 *km/soat* tezlik bilan uchmoqda. Yopishqoqlik tufayli samolyot qanoti sirtidan 4 *sm* naridagi havo qatlami samolyotga ergashmaydi deb hisoblab, qanot sirtining har bir kvadrat metriga tasir qiluvchi urinma kuch topilsin. Havo molekulalarining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* ga, havoning temperaturasini 0^0S ga teng deb olinsin.

320. Ikkita koaksial silindrning oralig'idagi fazo gaz bilan to'ldirilgan. Silindlarning radiuslari mos ravishda r = 5 *sm* va R = 5,2 *sm* ga teng. Ichki silindr— ning balandligi esa h = 25 *sm* ga teng. Tashqi silindr ν = 360 *ayl/s* chastotaga moc tezlik bilan aylanadi. Ichki silindrningg harakatsiz qolishligi uchun unga urinma ravishda F = 1,38 · 10^{-3} *N* kuch qo'yilishi kerak. Birinchi yaqinlashishda bu holni yassi plastinkalar kabi qarab, tajribada berilganlarga asosan silindrlar orasidagi gazning yopishqoqlik koeffisienti topilsin.

321. Radiusi R_1 = 10 *sm* va uzunligi *l* = 30 *sm* bo'lgan silindr R_2=10,5 *sm* radiusli silindr ichiga xar ikkala silindrning aylanish o'qlari mos keladigan qilib joylashtirilgan. Kichik silindr harakatsiz,kattasi esa geometrik o'qiga nisbatan ν=15 s^{-1} chastota bilan aylanmoqda. Silindrlar turgan gazning dinamik qovushoqligi η = 8,5 *mkPa×s*. 1) Ichki dilindrning S = 1 sm^2 yuzali sirtiga ta`sir etayotgan urinma kuch F_τ; 2) shu silindrga tasir etayotgan aylantiruvchi moment M aniqlansin.

322. Radiuslari R = 20 *sm* dan bo'lgan ikkita gorizontal disk bir—birining ustida o'qlari mos tushadigan tarzda joylashgan. Disklarning sirtlari orasidagi masofa d = 0,5 *sm*. Yuqoridagi disk harakatsiz, pastdagisi esa geometrik o'qiga nisbatan ν= 10 s^{-1} chastota bilan aylanmoqda. Yuqoridagi diskka tasir etadigan aylantiruvchi moment M topilsin. Disklar turgan havoning dinamik qovushoqligi η = 17,2 *mkPa×s*.

323. 10^0S temperaturada va 10^5 N/m^2 bosimda havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti topilsin. Havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-8}$ *sm* ga teng deb olinsin.

324. V = 2 *l* hajmli idishda ikki atomli gazning Nq$4\cdot10^{22}$ ta molekulasi bor. Gazning issiqliq o'tkazuvchanlik koeffisienti χq 0,014 *Vt/m×grad* ga teng. Shunday sharoitda gazning diffuziya koeffisienti topilsin.

325. Dyuar idishining devorlari orasidagi masofa 8 *mm* ga teng. Havosi so'rib olinayotganda, qanday bosimdan boshlab Dyuar idishining devorlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti kamayib boradi? Havoning temperaturasini 17^0S ga, havo molekulasining diametrini $3\cdot10^{-7}$ *mm* ga teng deb olinsin.

326. Deraza romlari orasidagi havoning issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli deraza orqali har soatda qancha issiqlik miqdori sarf bo'la boradi. Har bitta romning yuzi 4 m^2 ga, romlarning oraligi esa 30 *sm* ga teng. Binodagi temperatura 18^0S, tashqi muhitdagi temperatura 20^0S. Havo molekulalarining diametri $3\cdot10^{-8}$*sm* ga teng. Romlar orasidagi havoning temperaturasini binodagi va tashqi muhitdagi temperaturalarning o'rtacha arifmetik qiymatiga teng deb olinsin. Bosim 760 *mm sim. ust.* ga teng.

327. Bir—biridan 1 *mm* oraliqda bo'lgan ikkita plastinkalar orasida havo bor. Plastinkalar orasida $\Delta T = 1$ K temperaturalar farqi doimiy saqlanadi. Har bitta plastinkaning yuzi $S = 100$ sm^2 ga teng. Issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli bir plastinkadan ikkinchisiga 10 *min* davomida qancha issiqlik miqdori o'tadi. Havo normal sharoitda deb hisoblansin. Havo molekulalarining diametri $3 \cdot 10^{-10}$ *m* ga teng, deb olinsin.

VII. Gaz kengayishida bajariladigan ish. Issiqlik mashinalari

Termodinamikaning birinchi qonuni quyidagi ko'rinishga ega: dQ=dU+dA, bu yerda dQ—gazning olgan issiqlik miqdori, dU—gaz ichki energiyasining o'zgarishi va dA=PdV gazning hajmi dV ga o'zgarganda uning bajargan ishi.

Gazning hajmi izotermik ravishda V_1 dan V_2 ga o'zgarganda bajargan ishi:

$$A = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \qquad (1)$$

Gazning izobarik jarayonda bajargan ishi:

$$A = P(V_2 - V_1) \qquad (2)$$

Adiabatik jaryonda gazning bajargan ishi:

$$A = \frac{RT_1}{(\gamma - 1)} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{P_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(\gamma - 1)\ T_1}, \qquad (3)$$

buyerda T_1—gazning boshlang'ich, T_2 —uning ohirgi temperaturasi.

Issiqlik mashinasining foydali ish koeffisienti (F.I.K.):

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \qquad (4)$$

buyerda Q_1—ishchi jismga berilgan issiqlik miqdori, Q_2—sovutgichga berilgan issiqlik miqdori

Karno sikli uchun F.I.K.:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \qquad (5)$$

buyerda T_1—isitgichning temperaturasi, T_2—sovutgichning temperaturasi.

Masalayechish namunalari

1— masala. m = 0,2 *kg* massali vodorod o'zgarmas bosimda t_1=0°S temperaturadan to t_2=100°S temperaturagacha qizdirilganda yutadigan issiqlik miqdori aniqlansin. Shuningdek, gaz ichki energiyasining o'zgarishi va bajargan ishi topilsin.

Yechilishi. Izobarik qizitishda gaz yutadigan issiqlik miqdori

$$Q = mC_p \Delta T \qquad (1)$$

formula bo'yicha aniqlanadi; bunda m — qizdirilayotgan gazning massasi; C_p — uning o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi; ΔT — gaz temperaturasining o'zgarishi.

Ma`lumki $C_p = \frac{(i+2)}{2} \frac{R}{\mu}$. C_p ning bu ifodasini (1) formulaga qo'ysak,

$$Q = m \frac{i+2}{2} \frac{R}{m} DT.$$

Bu formula bo'yicha hisoblash o'tkazsak,

$$Q = 291 kJ.$$

Ichki energiya $U = \frac{i}{2} \frac{m}{m} RT$ formula bilan ifodalanadi, binobarin, ichki energiyaning o'zgarishi

$$DU = \frac{i}{2}\frac{m}{m}RDT.$$

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib hisob–lashni bajarsak,

$$\Delta U = 208 \quad kJ.$$

Gazning kengayishdagi ishini termodinamikaning birinchi qonu–nini ifodalovchi formula $Q = \Delta U + A$ dan aniqlaymiz:

$$A = Q - \Delta U.$$

Q va ΔU larning qiymatlarini o'rniga qo'ysak,

$$A = 83 \quad kJ.$$

2–masala. $1 \cdot 10^{-2}$ m^3 havoni $2 \cdot 10^{-3}$ m^3 hajmgacha siqish kerak. Gazni qanday siqish foydali: adiabatikmi yoki izotermikmi?

Yechilishi. Adiabatik siqishda bajarilgan ish

$$A_a = \frac{m}{m} \cdot \frac{RT}{(g-1)}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{g-1}\right]$$

va izotermik siqishda bajarilgan ish

$$A_i = \frac{m}{m} \cdot RT \ln\frac{V_2}{V_1}$$

Bundan

$$\frac{A_a}{A_i} = \frac{\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{g-1}\right]}{(g-1)\ln\frac{V_2}{V_1}} \qquad (1)$$

Bizda $V_1=10^{-2}$ m^3; $V_2=2 \cdot 10^{-3}$ m^3; (γ-1)=0,4. Bu qiymatlarni (1) ga qo'ysak $\frac{A_a}{A_i} = 1{,}4$ kelib chiqadi. Demak, izotermik siqish foydaliroqdir.

3– masala. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan issiqlik mashinasining isitkichi t_1=200°S temperaturaga ega. Agar isitkichdan Q_1 = 1 *J* issiqlik miqdori olinganda mashina A=0,4 *J* ish bajarsa, sovitkichning temperaturasi T_2 aniqlansin. Ishqalanishdagi va issiqlik berishdagi yo'qotish hisobga olinmasin.

Yechilishi. Sovitkichning temperaturasini Karno sikli bo'yicha ishlaydigan mashinalarning termik FIK uchun yozilgan $h = (T_1 - T_2)/T_1$ ifodadan foydalanib topamiz. Bundan

$$T_2 = T_1(1-h). \qquad (1)$$

Issiklik mashinasining termik FIK mexanik ishi A ga aylantirilgan issiqlik miqdorining issiqlik mashinasining ishchi jismi tashqi muhitdan (isitkichdan) oladigan issiqlik miqdori Q_1 ga nisbatini ifodalaydi, yani $h = A/Q_1$. Bu ifodani (1) formulaga qo'yib, quyidagini topamiz:

$$T_2 = T_1(1 - A/Q_1). \qquad (2)$$

T_1=473 K ekanligini hisobga olib, (2) formula bo'yicha hisoblasak,

T_2= 284 K.

Masalalar

328. Massasi m = 4 *g* bo'lgan vodorod o'zgarmas bosim ostida 10 K ga qizdirilgan. Gaz kengayishining ishi A aniqlansin.

329. V_1 =12 *l* hajmni egallagan P_1 = 100 *kPa* bosim ostidagi gaz T_1 = 300 K temperaturadan to T_2 = 400 K temperaturagacha izobarik ravishda qizdiriladi. Gaz kengayishining ishi A aniqlansin.

330. Agar m = 5 *g* massali vodorod T = 290 K temperaturada izotermik ravishda kengayganda uning hajmi uch marta oshgan bo'lsa, bunda qanday A ish bajarilgan?

331. Massasi m = 1 *kg* bo'lgan kislorodni adiabatik siqishda A = 100 *kJ* ish bajarildi. Agar siqilguncha kislorod T_1 = 300 K temperaturada bo'lgan bo'lsa, gazning oxirgi temperaturasi T_2 aniqlansin.

332. $3\cdot10^5$ N/m^2 bosimda bo'lgan 10°S temperaturali 10 *g* kislorodni o'zgarmas bosimda isitish natijasida u kengayib 10 *l* hajmni egallagan. 1) Gazning olgan issiqlik miqdori, 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 3) gazning kengayishda bajargan ishi topilsin.

333. Temperaturasi 27°S bo'lgan 6,5 *g* vodorod o'zgarmas bosimda tashqaridan berilayotgan issiqlik hisobiga ikki marta kengaygan. 1) Gazning kengayish ishi, 2) gaz ichki energiyasiniig o'zgarishi, 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

334. Yopiq idishda 20 *g* azot va 32 *g* kislorod bor. Bu gaz aralashmasini 28 *K* ga sovitilganda, uning ichki energiyasining o'zgarishi topilsin.

335. 2 *kmol* karbonat angidrid gazi o'zgarmas bosimda 50 *K* ga isitilgan. 1) Gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 2) kengayganda bajarilgan ish, 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

336. Ikki atomli gaz izobarik ravishda kengayganda 160 *J* ish bajarilgan. Gazga qancha issiqlik miqdori berilgan?

337. $2\cdot10^5$ N/m^2 bosim ostida bo'lgan 17°S temperaturali 5 *l* hajmni egallagan gaz isitilganda izobarik ravishda kengaygan. Bunda gazning kengayish ishi 200 *J* ga teng bo'lgan. Gaz necha gradusga isitilgan?

338. Ko'p atomli 1 *kmol* gaz erkin kengaya olish sharoitida 100 K ga isitilgan. 1) gazga berilgan issiqlik miqdori, 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 3) kengayishda bajargan ishi topilsin.

339. 10,5 *g* azot −23°S temperaturada izotermik p_1 = 2,5 *atm* bosimdan p_2 = 1 *atm* bosimgacha kengayadi. Gazning kengayishda bajargan ishi topilsin.

340. 17°S temperaturali 10 *g* azot izotermik kengayganda 860 *J* ga teng ish bajargan. Azot kengayganda bosimi necha marta o'zgargan?

341. Biror 10 *g* gaz izotermik V_1 hajmdan $V_2 = 2V_1$ hajmgacha kengayganda 575 *J* ga teng ish bajargan. Bu temperaturadagi gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi topilsin.

342. 2 m^3 gaz izotermik kengayganda uning bosimi p_1 = 5 *at* dan p_2 = 4 *at* gacha o'zgargan. Bunda bajarilgan ish topilsin.

343. 0^0S temperaturadagi havo adiabatik V_1 hajmdan $V_2 = 2V_1$ hajmgacha kengaysa, u qanday temperaturagacha soviydi?

344. Agar massasi m = 4 *g* bo'lgan vodorod adiabatik kengayishida uning temperaturasi ΔT = 10 K ga pasaysa, adiabatik kengayishidagi ish A aniqlansin.

345. Massasi m = 2 *g* bo'lgan T_1 = 300 K temperaturadagi azot shunday adiabatik siqilganki, hajmi n = 10 marta kamaygan. Gazning oxirgi temperaturasi T_2 va siqish ishi A aniqlansin.

346. P = 1,2 *MPa* bosim ostida V_1 = 1 *l* hajmni egallagan kislorod V_2 = 10 *l* hajmgacha adiabatik kengaydi. Gaz kengayishining ishi A aniqlansin.

347. Ichki yonuv dvigatelining silindridagi havo adiabatik siqiladi va bunda uning bosimi p_1 = 1 *atm* dan p_2 = 35 *atm* gacha o'zgaradi. Havoning boshlang'ich temperaturasi 40°S. Havoning siqilgandan keyingi temperaturasi topilsin.

348. Gaz adiabatik kengayadi va bunda uning hajmi ikki baravar ortadi, temperaturasi (absolyut) esa 1,32 marta pasayadi. Bu gaz molekulasining erkinlik darajasi qanday?

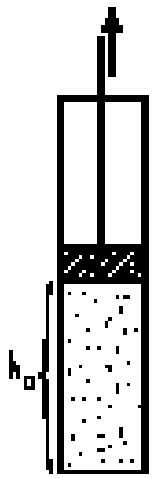
349. 27°S temperatura va $2\cdot10^6$ N/m^2 bosimda ikki atomli gaz adiabatik V_1 hajmdan $V_2 = 0{,}5V_1$ hajmgacha siqiladi. Siqilgandan keyingi gazning temperaturasi va bosimi topilsin.

350. Normal sharoitda idish porsheni ostida gaz bor. Idish tubidan porshengacha bo'lgan masofa 25 *sm* ga teng. Porshenga 20 *kg* yuk qo'yilganda u 13,4 *sm* pastga tushgan. Siqilishni adiabatik hisoblab, berilgan gaz uchun C_p/C_v nisbat topilsin. Porshenning ko'ndalang kesim yuzi 10 sm^2 ga teng; porshenning og'irligi nazarga olinmasin.

351. Gaz adiabatik kengayib, uning bosimi 2 *atm* dan 1 *atm*gacha. pasayadi. Keyin gaz o'zgarmas hajmda boshlang'ich temperaturasigacha isitiladi, bunda uning bosimi 1,22 *atm* gacha ko'tariladi, 1) Bu gaz uchun C_p/C_v nisbat topilsin. 2) Bu jarayonning grafigi chizilsin.

352. Normal sharoitda 1 *kmol* azot adiabatik V_1 hajmdan $V_2 = 5V_1$ hajmgacha kengayadi. 1) Gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 2) kengayishda bajarilgan ish topilsin.

353. Silindrda porshen ostidagi berk fazoda havo qamalgan (1—rasm). Agar havo ustunining boshlang'ich balandligi h_0 =15 *sm* bo'lsa va tashqi bosim p_0 = 760 *mm sim. ust.* ga teng bo'lsa, unda porshenni h_1 = 10 *sm* yuqoriga ko'tarish uchun qancha ish bajarish kerak? Porshen yuzi S = 10 sm^2. Porshen og'irligini nazarga olmaslik mumkin. Temperatura o'zgarmay qoladi.



1-расм

354. a) Qandaydir massali azot 1 *at* bosimda 5 *l* hajmni egallab, bosim 3 *at* bo'lganda esa — 2 *l* hajmni egallagan. Birinchi holatdan ikkinchi holatga ikki bosqich bilan: avval izoxora bo'yicha, undan keyin izobara bo'yicha o'tilgan. Ichki energiyaning o'zgarishi, issiqlik miqdori va bajarilgan ish anaqlansin.

b) Shu hisoblashni bosqichlarning teskari tartibda o'tish holi uchun, yani: avval izobara bo'yicha, undan keyin izoxora bo'yicha holat o'zgarishi uchun bajaring. Nima uchun a) va b) hollarda hisoblash natijalari har xil?

355. Qandaydir miqdorli ikki atomli gaz (γ = 1,4) bir gal izotermik, ikkinchi gal adiabatik ravishda siqiladi. Siqilayotgan gazning har ikkala galdagi boshlang'ich temperatura va bosimlari bir xil. Oxirgi bosim boshlang'ich bosimdan n marta katta. Adiabatik va izotermik prosesslardagi siqilish ishlari nisbatini toping. a) n = 2; b) n = 100 bo'lgandagi hollar qarab chiqilsin.

356. Vodorod p_1 = 100 *kPa* bosimda V_1 = 10 m^3 hajmni egallaydi. Gaz o'zgarmas hajmda p_2 = 300 *kPa* bosimgacha qizdirildi. 1) gaz ichki energiyasining o'zgarishi; 2) gaz bajargan ish; 3) gazga berilgan issiqlik miqdori aniqlansin.

357. O'zgarmas p = 80 *kPa* bosimda kislorod qizdirilmoqda. Bunda uning hajmi V_1 = 1 m^3 dan V_2 = 3 m^3 gacha ortdi. 1) Kislorodning ichki energiyasining

ortishi ΔU; 2) kengayishida uning bajargan ishi A; 3) gazga berilgan issiqlik miqdori Q aniqlansin.

358. m = 2 *kg* massali kislorod P_1 = 0,2 *MPa* bosim ostida V_1 = 1 m^3 hajmni egallab turibdi. Gaz oldiniga o'zgarmas bosimda V_2 = 3 m^3 hajmgacha, keyin esa o'zgarmas hajmda P_3 = 0,5 *MPa* bosimgacha qizdirildi. 1) Gaz ichki energiyasining o'zgarishi ΔU; 2) u bajargan ish A; 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin. Jarayonning grafigi tuzilsin.

359. Izobarik jarayonda ideal gazga berilgan Q_1 issiqlik miqdorining qanday ulushi gaz ΔU ichki energiyasining ortishiga va qanday ulushi kengayish ishi A ga sarflanadi? Gaz; 1) bir atomli; 2) ikki atomli; 3) uch atomli bo'lgan hollar qaralsin.

360. m = 200 *g* massali azot T = 280 K temperaturada izotermik kengaymoqda va bunda gazning hajmi ikki marta ortdi. 1) Gaz ichki energiyasining o'zgarishi ΔU; 2) gaz kengayishida bajarilgan ish A; 3) gaz olgan issiqlik miqdori Q topilsin.

361. m = 10 *g* massali vodorod T = 200 K ga qizdirildi va bunda unga Q = 40 *kJ* issiqlik miqdori berildi. Gaz ichki energiyasining o'zgarishi ΔU va u bajargan ish A topilsin.

362. Modda miqdori ν = 1 *mol* bo'lgan T = 300 K temperaturadagi kislorod izotermik kengayganda unga Q = 2 *kJ* issiqlik miqdori berildi. Gazning hajmi necha marta ortgan?

363. Boshlang'ich temperaturasi T_1=320 K bo'lgan kislorod adiabatik kengayishida ichki energiyasi ΔU = 8,4 *kJ* ga kamaydi, hajmi esa n = 10 marta oshdi. Kislorodning massasi m aniqlansin.

364. Silindrdagi porshen ostida T = 300 K temperaturada m = 0,02 *kg* massali vodorod bor. Vodorod oldiniga adiabatik ravishda kengayib o'z hajmini besh marta orttirdi, keyin esa izotermik ravishda siqildi va bunda gazning hajmi besh marta kamaydi. Adiabatik kengayish oxiridagi temperatura T_2 va gaz bajargan to'la ish A topilsin

365. Adiabatik siqilish natijasida m = 20 *g* massali kislorodning ichki energiyasi ΔU = 8 *kJ* ga ortdi va temperaturasi T_2 = 900 K gacha ko'tarildi. 1) temperaturaning ortishi ΔT; 2) agar boshlang'ich bosim p_1 = 200 *kPa* bo'lsa, gazning oxirgi bosimi p_2 topilsin.

366. Dizel dvigatelidagi yoqilg'i aralashmasi T_2 = 1100 K temperaturada alangalanadi. Aralashmaning boshlang'ich temperaturasi T = 350 K. Alangalanishi uchun siqishda aralashma hajmini necha marta kamaytirish kerak? Siqish adiabatik deb hisoblansin. Aralashma uchun adiabata ko'rsatkichi γ = 1,4 deb qabul qilinsin.

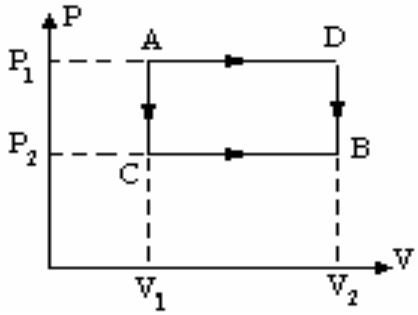
367. Ikki atomli gazning hajmi ikki baravar kengaytirilganda gaz molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi necha marta kamayadi?

368. Normal sharoitdagi 10 *g* kislorod $1{,}4\cdot10^{-3}$ m^3 hajmgacha siqiladi. Kislorodning 1) izotermik, 2) adiabatik siqilgandan keyingi bosimi va temperaturasi topilsin. Bu hollarning har birida bajarilgan siqish ishi topilsin.

369. Biri bir atomli, boshqasi ikki atomli har xil gazlar bir xil temperaturada bo'lib, bir xil hajmni egallaydi. Gazlar hajmi ikki marta kamayguncha adiabatik siqilgan. Gazlarning qaysi biri ko'proq isiydi va necha marta?

370. Qandaydir miqdordagi kislorod t_1 = 27°S temperaturada va p_1 = $8{,}2\cdot10^5$ N/m^2 bosimda V_1 = 3 *l* hajmni egallaydi (2— rasm).

Gaz ikkinchi holatda V_2 = 4,5 *l* va p_2 = $6\cdot10^5$ N/m^2 parametrlarga ega. Gazning olgan issiqlik miqdori; kengayishda gazning bajargan ishi; gazning ichki energiyasiniig o'zgarishi topilsin. Masala quyidagi



hollar uchunyechilsin: gaz bir holatdan ikkinchisiga: 1) ACB va 2) ADB yo'llar bilan o'tadi.

371. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda isitgichdai 600 *kal* issiqlik oladi. Isitgichning temperaturasi 400 K, sovitgichning temperaturasi 300 K . Mashinaning bir siklda bajargan ishi va bir siklda sovitgichga bergan issiqlik miqdori topilsin.

372. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Agar bir siklda 3000 *J* ga teng ish bajarilganligi va sovitgichga 3,2 *kkal* issiqlik berilgani malum bo'lsa, siklning f. i. k. aniqlansin.

373. Bir *mol* ideal gaz V_1 hajmdan V_2 hajmgacha izotermik kengaymoqda. Gaz bajargan A ishni va gazga berilgan Q issiqlik miqdorini aniqlang.

374. Agar m = 7 *g* azot izotermik siqilganda uning bosimi n = 50 marta ortgan bo'lsa, bu prosessda ajralgan Q' issiqlik miqdorini aniqlang. Shu bilan bir qatorda siqish prosessida bajarilgan A' ishni aniqlang. Gazning temperaturasi t = 27°S ga teng.

375. Politropik prosess deb, issiqlik sig'imi C o'zgarmas saqlanadigan prosessga aytiladi. Politropik prosessni tasvirlovchi egri chiziqni politropa chizig'i deb ataladi. Issiqlik sig'imi C_v temperaturaga bog'liq bo'lmagan ideal gaz uchun politropa tenglamasini toping. Ushbu xususiy hollarni qarang: 1) $C = C_v$, 2) $C = C_p$, 3) $C = 0$, 4) $C = \infty$.

376. Agar izobarik qaytuvchan isitish prosessida bir atomli gaz A = 10 *J* ish bajargan bo'lsa, unga qancha Q issiqlik miqdori berilgan?

377. Sig'imi 10 *l* bo'lgan idishga P = 1 *atm* bosim ostida kislorod qamalgan. Idish devorlari P_1 = 10 *atm* bosimgacha bardosh bera oladi. Gazga eng ko'pi bilan qancha Q issiqlik miqdori berish mumkin?

378. Agar 1 *kg* argonni o'zgarmas 760 *mm sim. ust.* bosimda 2°S isitish uchun unga 250 *kal* issiqlik berish kerakligi, uni 10 *atm* bosim ostida 5 *l* o'zgarmas hajmda 100 dan 0°S gacha sovitilganda esa 500 *kal* issiqlik ajralishi malum bo'lsa, argon uchun $\gamma = C_p/C_v$ nisbat qanchaga teng?

379. Gaz Klapeyron tenglamasi PV = RT ga bo'ysunadi. Faqat termodinamikaning birinchi bosh qonunidan foydalanib, bu tenglama uchun issiqlik sig'imlar farqi $C_p - C_v$ ni toping.

380. Quyidagilardan qaysi birining ichki energiyasi ko'proq: ichki yonuv dvigateli silindridagi ishchi jism aralashmasining siqish takti oxiridagi (uchqun chiqish oldidagi) ichki energiyasimi yoki uning siqish mahsulotining ish yo'li taktining oxiridagi ichki energiyasimi?

381. Ideal issiqlik mashinasi qizdirgichining temperaturasi 117°S, sovitkichiniki 27°S. Mashinaniig 1 *s* da qizdirgichdan olayotgan issiqlik miqdori 60 *kJ* ga teng. Mashinaning FIK ni, 1 *s* da sovitgichga berilayotgan issiqlik miqdorini va mashinaning quvvatnni hisoblang.

382. Ideal issiqlik mashinasida qizdirgichdan olinayotgan har bir *kilojoul* energiya hisobiga 300 *J* ish bajariladi. Agar sovutkichning temperaturasi 280 K bo'lsa, mashinaniig FIK ni va qizdirgichning temperaturasini aniqlang.

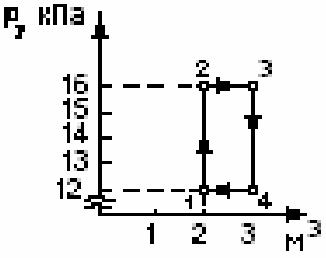
383. Bug' turbinasida 1 *kVt* × *soat* energiya hosil qilish uchun 0,35 *kg* dizel yonilg'isi sarf bo'ladi. Turbinaga kelayotgan bug'ning temperaturasi 250°S, sovitkichniki − 30°S. Turbinaning faktik FIK ini hisoblang va uni o'shanday temperatura sharoitida ishlayotgan ideal issiqlik mashinasining FIK bilan taqqoslang.

384. Motorli velosipedning 25 *km/soat* harakat tezligida 100 *km* yo'lga benzin sarfi 1,7 *l*, unga o'rnatilgan dvigatelning FIK 20% bo'lsa, dvigatel qanday o'rtacha quvvat hosil qiladi?

385. Aylanma jarayonni bajarib, gaz isitkichdan Q = 4 *kJ* issiqlik miqdori oldi. Agar uning FIK 10 % bo'lsa, bu jarayonda gazning bajargan ishi A aniqlansin.

386. Modda miqdori ν = 1 *mol* bo'lgan ikki atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat jarayonni bajarmoqda. Eng kichik hajm V_{min} = 10 *l*, eng kattasi V_{max} = 20 *l*, eng kichik bosim P_{min} = 24 *kPa*, eng kattasi P_{max} = 410 *kPa*. Jarayonning grafigi tuzilsin. Jarayonning xarakterli nuqtalari uchun temperatura T va uning FIK aniqlansin.

387. Modda miqdori ν = 1 *kmol* bo'lgan ikki atomli ideal gaz grafigi 3— rasmda tasvirlangan yopiq siklni bajaradi, 1) isitkichdan olingan issiklik miqdori Q_1; 2) sovitkichga berilgan issiqlik miqdori Q_2; 3) gazning sikl davomida bajargan A ishi; 4) siklning FIK aniqlansin.



3 - расм

388. Ko'p atomli ideal gaz ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat jarayonni bajardi. Bunda gazning eng katta bosimi eng kichik bosimidan ikki marta katta, eng katta hajmi esa eng kichik hajmidan to'rt marta katta bo'ldi. Jarayonning FIK aniqlansin.

389. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda $7{,}35 \cdot 10^4$ *J* ish bajaradi. Isitgichning temperaturasi 100°S, sovitgichning temperaturasi 0°S, 1) Mashinaning FIK, 2) mashinaning bir siklda isitgichdan olgan issiqlik miqdori, 3) bir siklda sovitgichga bergan issiqlik miqdori topilsin.

390. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Bunda isitgichdan olingan issiqlikning 80% i sovitgichga beriladi. Isitgichdan olingan issiqlik miqdori 1,5 *kkal* ga teng. 1) siklning FIK, 2) to'la siklda bajarilgan ish topilsin.

391. Ideal gazning bir kilomoli ikkita izoxora va ikkita izobaradan iborat yopiq siklni bajaradi. Bunda gazning hajmi V_1 = 25 m^3 dan V_2 = 50 m^3 gacha va bosimi P_1 = 1 *atm* dan P_2 = 2 *atm* gacha o'zgaradi, Bunday siklda bajarilgan ish, hajmi izotermik kengaytirilganda ikki marta ortgan va izotermalari qarab chiqilayotgan siklning eng yuqori va eng past temperaturalariga mos kelgan Karno sikli bo'yicha bajarilgan ishdan necha marta kichik?

392. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi, har bir siklda $3{,}7 \cdot 10^4$ *J* ga teng ish bajaradi. Bunda mashina -10^0 S temperaturali jismdan issiqlik olib, 17°S temperaturali jismga issiqlik beradi. 1) siklning FIK, 2) bir siklda sovuq jismdan olingan issiqlik miqdori, 3) bir siklda issiq jismga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

393. Ideal sovitish mashinasi teskari Karno sikli bo'yicha issiqlik nasosidek ishlaydi. Bunda mashina 2°S temperaturali suvdan issiqlik oladi va uni 27°S temperaturali havoga beradi. 1) Biror vaqt oralig'ida havoga berilgan issiqlik miqdorini shuncha vaqtda suvdan olingan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat η_1 koeffisient; 2) biror vaqt oralig'ida suvdan olingan issiqlik miqdorini shuncha vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyaga bo'lgan nisbatidan iborat η_2 koeffisient (η_2— mashinaning sovitish koeffisienti deyiladi); 3) biror vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyani shuncha vaqtda havoga berilgan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat η_3 koeffisient (η_3 - siklning foydali ish koeffisienti) topilsin. η_1 , η_2 va η_3 koeffisientlarning o'zaro bog'lanishi topilsin.

394. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal sovitish mashinasi 0°S temperaturadagi suvli sovitgichdan 100°S temperaturadagi suvli qaynatgichga issiqlik uzatadi. Qaynatgichda 1 *kg* suvni bug'ga aylantirish uchun sovitgichda qancha miqdor suvni muzlatish kerak?

395. Ideal gaz Karno siklini bajarmoqda. Sovitkichning temperaturasi T_2 = 290 K. Agar isitkichning temperaturasi T_1 = 400 K dan 600 K gacha ko'tarilsa, siklning FIK necha marta ortadi?

396. Ideal gaz Karno siklini bajarmokda. Isitkichning temperaturasi T_1 = 470 K, sovitkichning temperaturasi esa T_2 = 280 K. Izotermik kengayishda gaz A = 100 *J* ish bajaradi. Siklning FIK hamda izotermik siqilishda gaz sovitkichga bergan issiqlik miqdori Q_2 aniqlansin.

397. Ideal gaz Karno siklini bajarmokda. Isitkichning temperaturasi T_1 sovitkichning temperaturasi T_2 dan to'rt marta yuqori. Gaz bir siklda isitkichdan oladigan issiqlik miqdorining qanday ulushini sovutgichga beradi?

398. Karno siklini bajarayotgan ideal gaz isitkichdan Q_1 = 4,2 *kJ* issiqlik mikdori olib, A = 590 *J* ish bajardi. Bu siklning FIK topilsin. Isitkichning temperaturasi T_1 sovitkichning temperaturasi T_2 dan necha marta katta?

399. Karno siklini bajarayotgan gazning eng kichik hajmi V_1 = 153 *l*. Agar gazning izotermik kengayishining oxiridagi V_2 hajmi va izotermik siqilishning oxiridagi V_4 hajmi mos ravishda 600 *l* va 189 *l* ga teng bo'lsa, eng katta hajm V_3 aniqlansin.

400. Karno mashinasinipg F.I.K.ni oshirishning qaysi yo'li nazariy jihatdan samaraliroq: sovitkichning T_2 temperaturasini o'zgartirmasdan isitkichning T_1 temperaturasini ΔT ga oshiribmi yoki isitkichning T_1 temperaturasini o'zgartirmasdan isitkichning T_2 temperaturasini xuddi shunday ΔT miqdorga pasaytiribmi?

401. F.I.K. η = 40% bo'lgan Karno issiqlik mashinasi xuddi shu rezervuarlari bilan sovitkich mashina sifatida foydalanila boshlandi. Agar bu mashinaga har bir siklda A = 10 *kJ* ish sarflansa, mashina bir sikl davomida sovitkichdan isitkichga qancha Q_2 issiqlik olib o'tishi mumkin?

402. Karno issiqlik mashinasidan biror rezervuardagi temperaturani $t_2 = -3°S$ da saqlab turish uchun sovitkich mashina sifatida foydalaniladi. Atrofdagi havo temperaturasi t_1 = 27°S ga teng. Agar rezervuar qoplamasidan Q_2 = 900 *kal* issiqlik olib ketilsa, mashinadan bir sikl davomida qancha mexanik ish bajarish talab qilinadi?

403. Ishchi jismni ideal gazdan iborat deb faraz qilib, ikki izoterma va ikki izobaradan iborat siklning FIK ni toping.

VIII. Entropiya.

Tizim A holatdan V holatga o'zganda entropiyaning o'zgarishi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$DS = \int_A^B \frac{dQ}{T} \qquad (1)$$

Bolsman formulasi:

$$S = k\,ln\frac{w}{w_0}, \qquad (2)$$

buyerda k — Bolsman doimiysi, w — tizim holatining termodinamik ehtimolligi, w_0 — hisob boshi deb qabul qilingan holatning termodinamik ehtimolligi.

Masala yechish namunalari

1— masala. Massasi m = 200 *g* bo'lgan suvni t_1 = 0^0S dan t_2 = 100°S temperaturagacha qizdirishda va suvning shunday temperaturali bug'ga aylanishida entropiyaning o'zgarishi ΔS topilsin.

Echilishi. Suvning qizishida entropiyaning o'zgarishi ΔS' va uni bug'ga aylanishida entropiyaning o'zgarishi ΔS'' ni alohida—alohida topamiz. Entropiyaning to'liq o'zgarishi ΔS' va ΔS'' larning yig'indisi kabi ifodalanadi.

Ma`lumki, entropiyaning o'zgarishi

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_0^2 \frac{dQ}{T} \qquad (1)$$

umumiy formula bilan ifodalanadi.

Qizdirilayotgan jism temperaturasining cheksiz kichik dT o'zgarishiga dQ = mCdT issiqlik miqdori sarflanadi, bunda m — jism massasi, S — uning solishtirma issiqlik sig'imi. dQ ning ifodasini (1) formulaga qo'yib, suvning qizishida entropiyaning o'zgarishini hisoblash uchun formulani topamiz:

$$\Delta S' = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mCdT}{T}$$

O'zgarmas kattaliklarni integral belgisidan tashqariga chiqaramiz va integrallaymiz:

$$\Delta S' = mC\ln(T_2 / T_1).$$

Hisoblashlarni bajarsak,

$$\Delta S' = 264 \quad J/K$$

Suvning shunday temperaturali bug'ga aylanishida entropiyaning o'zgarishini (1) formulaga binoan hisoblaganda o'zgarmas temperatura T integral belgisidan tashqariga chiqariladi. Integralni hisoblab, quyidagini topamiz:

$$\Delta S'' = \frac{1}{T}\int_1^2 dQ = \frac{Q}{T}, \qquad (2)$$

bunda Q - qizdirilgan suvning shunday temperaturali bug'ga aylanishida berilgan issiqlik miqdori.

(2) tenglikka issiqlik mikdorining $Q = lm$ ifodasini qo'yib (bunda λ bug' hosil bo'lishining solishtirma issiqligi), quyidagini olamiz:

$$\Delta S'' = \frac{lm}{T}. \qquad (3)$$

(3) formula bo'yicha hisoblash o'tkazsak,

$$\Delta S''=1210 \quad J/K$$

Suvning qizishida va keyin uning shunday temperaturali bug'ga aylanishida entropiyaning to'liq o'zgarishi

$$\Delta S = \Delta S' + \Delta S'' = 1474 \quad J/K$$

2−masala. Massasi m = 20 *g* bo'lgan kislorodning V_1 = 25 *l* hajmdan V_2 = 100 *l* hajmgacha izotermik ravishda kengayishida entropiyaning o'zgarishi ΔS aniqlansin.

Yechilishi. Jarayon izotermik bo'lganligidan entropiyaning umumiy $\Delta S = S_2' - S_1' = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ ifodacida temperaturani integral belgisidan tashqariga chiqariladi. U holda:

$$\Delta S = \frac{1}{T}\int_1^2 dQ = \frac{Q}{T}. \qquad (1)$$

Gaz olgan issiqlik miqdori Q ni termodinamikaniig birinchi qonunidan foydalanib topamiz: $Q = \Delta U + A$. Izotermik jarayon uchun ΔU = 0, binobarin,

$$Q = A, \qquad (2)$$

bu jarayon uchun esa ish

$$A = \frac{m}{m} RT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad (3)$$

formula bilan aniqlanadi.

(2) va (3) hisobga olinganda (1) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\Delta S = \frac{m}{m} R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad (4)$$

(4) ga son qiymatlarni qo'yib hisoblasak,

$$\Delta S = (20\cdot 10^{-3}/(32\cdot 10^{-3}))\cdot 8{,}31\cdot \ln(100\cdot 10^{-3}/(25\cdot 10^{-3})) \quad J/K = 7{,}2 \quad J/K$$

3 −masala. 6 *g* vodorod $1{,}5\cdot 10^5$ *N/m*^{2} bosim va 20 *l* hajmdan $1\cdot 10^5$ *N/m*^{2} bosim va 60 *l* hajmga o'tishida entropiyaning o'zgarishi topilsin.

Yechilishi. Biz yuqoridagi masalada entropiyani T va V parametrlarning funksiyasi sifatida topdik. Bu masalada esa entropiyani V va p parametrlar orqali ifodalash talab qilinadi. Ma`lumki,

$$DS = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{m} R \ln\frac{V_2}{V_1} \qquad (1)$$

Lekin Mendeleev−Klapeyron tenglamasidan

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \qquad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'ysak, quyidagi kelib chiqadi:

$$DS = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{m} C_V \ln\frac{V_2}{V_1} + \frac{m}{m} R \ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{m} C_V \ln\frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{m} C_P \ln\frac{V_2}{V_1}$$

Masalada berilgan qiymatlarni o'rniga qo'ysak, ΔS = 71,0 *J/K* bo'−ladi.

O'quvchilarga eptropiyani p va T parametrlar orqali ifoda qilib, quyidagi formulani olish tavsiya qilinadi:

$$DS = \frac{m}{m} C_P \ln \frac{T_2}{T_1} - \frac{m}{m} R \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

Masalalar

404. 30 sm^3 temirning 20°S dan 100°S gacha isigandagi entropiya o'zgarishi aniqlansin.

405. 2 g havoning: a) hajmi o'zgarmaganda, b) bosimi o'zgarmaganda, 40°S dan 0°S gacha sovigandagi entropiya o'zgarishi topilsin.

406. 2 kg suv 10°S dan 100°S gacha isitilib shu temperaturada bug'ga aylantirilgandagi entropiyasi o'zgarishi aniqlansin.

407. Quyidagi jarayonlarda entropiyaning o'sishi ko'rsatilsin:

a) issiq suv o'z issiqligini o'sha massali sovuq suvga berganda har ikkala suvning temperaturasi tenglashib qoladi.

b) o'z issiqligini tevarak—atrofga chiqarmaydigai qilib izolyasiyalangan ikkita bir xil idishga teng miqdorda turli bosimli ideal gaz qamalgan bo'lib, u idishlar jo'mrakli nay vositasida bir—biriga ulangan. Jo'mrakni ochganda xar ikkala idishdagi gazning holati bir xil bo'lib qoladi.

408. 100°S li 200 g temir 12°S li 300 g suvli kalorimetrga solingan. Temperaturaning tenglashishida sistemaning entropiyasi qanday o'zgaradi?

409. Bir xil T = 300°K temperaturali va p = 1 atm bosimli V_1 = 5 l va V_2 = 3 l hajmli ikki (bir—biriga kimyoviy tasir qilmaydigan) turli gaz aralashtiriladi. Shundagi entroniya o'zgarishi aniqlansin.

410. Juda kichik issiqlik sig'imli kalorimetrdagi 23°S li 250 g suvga 0°S li 27 g muz tashlangan. Muz erib tugash paytigacha yuz bergan entropiya o'zgarishi aniqlansin.

411. —20°S dagi 10 g muzning 100^0S li bug'ga aylanishidagi entropiyaning o'zgarishi topilsin.

412. Erib turgan 640 g qo'rg'oshinni 0°S dagi muzga quyilgan. Bu jarayonda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

413. 8 g kislorodning 80°S temperaturadagi 10 l hajmdan 300°S temperaturadagi 40 l hajmga o'tishida entropiyaning o'zgarishi topilsin.

414. 6 g vodorod $1{,}5 \cdot 10^5$ N/m^2 bosim za 20 l hajmdan $1 \cdot 10^5$ N/m^2 bosim va 60 l hajmga o'tishida entropiyaning o'zgarishi topilsin.

415. 6,6 g vodorod hajmi ikki baravar ortguncha izobarik kengayadi. Bunday kengayishda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

416. 8 g geliyning V_1 = 10 l hajmdan V_2 = 20 l hajmgacha izobarik kengayishida entropiyaning o'zgarshi topilsin.

417. 6 g vodorodning 10^5 N/m^2 bosimdan $0{,}5 \cdot 10^5$ N/m^2 bosimgacha izotermik kengayishida entropiya o'zgarishi topilsin.

418. 10,5 g azot V_1 = 2 l hajmdan V_2 = 5 l hajmgacha izotermik kengaygan. Bu prosessda entropiyaniig o'zgarishi topilsin.

419. 10 g kislorod t_1 = 50°S dan t_2 = 150°S gacha isitilgan. Agar isitish: 1) izoxorik va 2) izobarik bo'lsa, entropiyaniig o'zgarishi topilsin.

420. T_1 = 280 K temperaturadagi m_1 = 5 kg massali suvni T_2 = 350 K temperaturadagi m_2 = 8 kg massali suv bilan aralashtirdilar. 1) Aralashmaning temperaturasi θ; 2) aralashtirishda entropiyaning o'zgarishi ΔS topilsin.

421. Massasi m = 1 *g* bo'lgan vodorodni izoxorik qizdirish natijasida gazning bosimi ikki marta ortdi. Gaz entropiyasining o'zgarishi ΔS aniqlansin.

422. m = 4 *g* massali azotning V_1 = 5 *l* hajmdan to V_2 = 9 *l* hajmgacha izobarik kengayishida entroniyaning o'zgarishi ΔS topilsin.

423. t_1 = - 10°S temperaturadagi m = 200 *g* massali muz parchasi t_2 = 0°S gacha isitilib eritilgan va so'ngra hosil bo'lgan suv t = 10°S gacha isitilgan. Ko'rsatilgan jarayonlar davomida entropiyaning o'zgarishi ΔS aniqlansin.

424. t_1 = 0°S temperaturadagi m_1 = 2 *kg* massali muz temperaturasi t_2 = 100°S bo'lgan bug' yordamida xuddi o'sha (0°S) temperaturadagi suvga aylantirildi. Sarflangan bug'ning massasi m_2 aniqlansin. Muz—bug' tizimi entropiyasiiing o'zgarishi ΔS qanday?

425. m=2 *kg* massali kislorod bir marta izotermik, boshqasida adiabatik ravishda o'z hajmini n = 5 martaga oshirdi. Ko'rsatilgan jarayonlarning har birida entropiyaning o'zgarishi topilsin.

426. m =100 *g* massali vodorod shunday izobarik qizdirildiki, uning hajmi n_1 = 3 marta oshdi, keyin vodorod shunday izoxorik sovitildiki, bosimi n_2 = 3 marta kamaydi. Ko'rsatilgan jarayonlar davomida entropiyaning o'zgarishi ΔS topilsin.

427. 1 *kmol* ikki atomli gaz isitilganda uning mutloq temperaturasi 1,5 marta ortgan. Agar gaz; 1) izoxorik va 2) izobarik isitilsa, entropiyaning o'zgarishi topilsin.

428. 22 *g* azot isitilish natijasida uning absolyut temperaturasi 1,2 marta, entropiyasi esa 4,19 *J/grad* ga ortgan bo'lsa, u qanday sharoitda isitilgan (o'zgarmas hajmdami yoki o'zgarmas bosimdami)?

429. 0°S temperatura va 20 N/sm^2 bosimda bir kub metr havo V_1 hajmdan V_2 = $2V_1$ hajmgacha izotermik kengayadi. Bu prosessda entropiyaning o'zgarishi topilsin.

430. V_1 hajmning istalgan nuqtasida bo'lishi mumkin bo'lgan n ta molekulaning malum bir paytda shu hajmning V_2 qismida bo'lishining ehtimolligi $W = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$ tenglik bilan ifodalanishiga asoslangan holda, ideal gazning V_2 hajmdan V_1 hajmgacha izotermik kengayishida entropiyaning o'zgarishi ΔS = k*lnw* tenglik bilan ifodalanishini ko'rsating, bunda k — Bolsman doimiysi.

431. Bir *mol* ideal gaz PV^n = const politropa bo'yicha V_1 hajmdan V_2 hajmgacha kengayganda uning ichki energiyasi va entropiyasi o'zgarishini hisoblang. Izotermik va adiabatik jarayonlardagi xususiy hollarni qarang.

432. Bir *mol* ideal bir atomli gaz PV^3 = const politropa bo'yicha V_1 = 1 *l* hajm va P_1 = 20 *atm* bosimdan V_2 = 3 *l* hajmgacha kengayganda uning ichki energiyasi va entropiyasi o'zgarishini hamda shu kengayishda yutilgan issiqlik miqdorini hisoblang. Jarayon davomida temperatura o'zgarishi shundayki, molyar issiqlik sig'imi uchun $C_V = \frac{3}{2}R$ o'rinli deb olish mumkin.

433. Birday hajmli ikki idishda har xil ideal gaz bor. Birinchi idishdagi gaz massasi m_1 ikkinchi idishdagi gaz massasi m_2, gazlarning bosimi va temperaturasi bir xil. Idishlar o'zaro tutashtirildi va diffuziya jarayoni boshlandi. Agar birinchi gazning molekulyar massasi μ_1, ikkinchi gazniki esa μ_2 bo'lsa, qaralayotgan sistema entropiyasining umumiy o'zgarishi ΔS ni aniqlang.

434. Har birining hajmi V = 1 *l* dan bo'lgan ikki ballon jo'mrakli nay bilan tutashtirilgan. Ballonlarning birida bosimi 1 *atm* va temperaturasi t_1 = 20°S bo'lgan vodorod, ikkinchisida bosimi 3 *atm* va temperaturasi t_2 = 100°S bo'lgan geliy bor. Jo'mrak ochilib, muvozanat holat qaror topgandan so'ng sistema entropiyasining

o'zgarishi ΔS ni aniqlang. Ballon va nay devorlari gazlarni atrof—muhit issiqligidan to'la izolyasiyalaydi.

435. Issiqlikdan izolyasiyalangan silindrik idish vaznsiz porshen bilan ikkita teng qismga ajratilgan. Porshenning bir tomonida S_r va S_V molyar issiqlik sig'imlari temperaturaga bog'liq bo'lmagan, molekulyar massasi μ va massasi m bo'lgan ideal gaz bor, ikkinchi tomonida esa yuqori vakuum hosil qilingan. Gazning boshlang'ich temperaturasi T_0 ga, bosimi P_o ga teng. Porshen qo'yib yuborilganda u erkin harakatlanib, gaz silindrning hamma hajmini egallashiga imkon beradi. Shundan so'ng porshenga berilayotgan bosimni asta—sekin orttirib, gaz hajmi dastlabki qiymatiga keltiriladi. Bunday jarayonda gazning ichki energiyasi va entropiyasi o'zgarishlarini toping.

436. Agar muzning boshlang'ich temperaturasi —40°S, bug'ning temperaturasi 100°S bo'lsa, 30 *g* muzning bug'ga aylanishida entropiya o'zgarishi ΔS ni aniqlang. Suv va muzning issiqlik sig'imlari — o'zgarmas, hamma jarayonlar atmosfera bosimida sodir bo'ladi, deb hisoblang. Muzning solishtirma issiqlik sig'imi c = 0,5 *kal/(g×K)* ga teng.

IX. Real gazlar va suyuqliklar.

Bir *mol* gaz uchun Van—der—Vaals tenglamasi:

$$(P+\frac{a}{V^2})(V_0-b)=RT, \qquad (1)$$

buyerda P—bosim, V_0—bir *mol* gazning hajmi, *a* va *b* — Van—der—Vaals doimiylari, ularning qiymatlari har xil gazlar uchun turlicha, T — mutloq temperatura, R—gaz doimiysi.

Gazning ixtiyoriy m massasi uchun Van—der—Vaals tenglamasi:

$$\left(r+\frac{m^2}{m^2}\frac{a}{V^2}\right)\left(V-\frac{m}{m}b\right)=\frac{m}{m}RT, \qquad (2)$$

buyerda V—gazning egallagan hajmi μ—bir *mol* gazning massasi.

Van—der—Vaals tenglamasidagi *a* va *b* doimiylar shu gazning kritik temperaturasi T_k, kritik bosimi P_k va kritik hajmi V_k bilan quyidagicha bog'langan:

$$V_k=3b;$$

$$P_k=\frac{a}{27b^2}; \qquad (3)$$

$$T_k=\frac{8a}{27R\cdot b}$$

Real gazning ichki energiyasi:

$$U=\frac{m}{m}\left(C_{mn}T-\frac{a}{V}\right) \qquad (4)$$

bu yerda $C_{\mu\nu}$— gazning o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi.

Sirt taranglik koeffisienti:

$$\sigma=\frac{F}{l}, \qquad (5)$$

bu yerda F— suyuqlik sirtini o'rab turgan *l* konturga ta`sir etayotgan sirt taranglik kuchi.

Suyuqlik sirt pardasining yuzani ΔS ga orttirish uchun sirt taranglik kuchiga qarshi $\Delta\grave{A}=s\ \ \Delta S$ ga teng ish bajarish kerak.

Suyuqlik sirtining egriligi tufayli yuzaga keluvchi qo'shimcha bosim Laplas formulasidan aniqlanadi:

$$\Delta P=\sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right), \qquad (6)$$

bu yerda R_1 va R_2 — suyuqlik yuzining ikkita o'zaro perpendikulyar kesimlarining egrilik radiuslari .

Suyuqlikning kapillyar nayda ko'tarilish balandligi:

$$h=\frac{2\sigma\cos\theta}{\rho gr}, \qquad (7)$$

buyerda r — naycha kanalining radiusi , ρ—suyuqlikning zichligi , θ—chegaraviy burchak .

Eritmaning R osmotik bosimi va T— mutloq temperaturaning o'zaro bog'lanishi Vant—Goff formulasi bilan ifodalanadi:

$$R=SRT, \qquad (8)$$

R — universal gaz doimiysi, $S = \frac{m}{m\ V}$ — eritmaning birlik hajmida erigan moddaning mollari soni (eritmaning molyar konsentrasiyasi).

Masala yechish namunalari

1— masala. Sig'imi V = 8 *l* bo'lgan ballonda T = 300 K temperaturada massasi m = 0,3 *kg* bo'lgan kislorod bor. Idish sig'imining qanday qismini gaz molekulalarining xususiy hajmi tashkil qilishini topilsin. Gaz ichki bosimi r′ ning gazning idish devorlariga bosimi r ga nisbatan aniqlansin.

Yechilishi. Masalaning birinchi savoliga javob topish uchun

$$V'/V \qquad (1)$$

nisbatni topish zarur, bunda V' — molekulalarning xususiy hajmi.

Molekulaning xususiy hajmini real gazning bir molida mavjud bo'lgan molekulalar hajmining to'rtga ko'paytirilganiga teng bo'lgan Van—der—Vaals doimiysi b dan foydalanib topamiz. Van—der—Vaals tenglamasi

$$(P+\nu^2 a/V^2)\,(V-\nu b) = \nu RT \qquad (2)$$

dagi νb tuzatma gazdagi barcha molekulalar hajmining to'rtlanganini bildiradi, yani $\nu b = 4V'$. Bundan

$$V' = \nu b/4 \quad \text{yoki}$$

$$V' = mb/(4\mu),$$

buyerda $\nu = m/\mu$ — modda miqdori; μ — molyar massa.

V' ning topilgan qiymatini (1) ifodaga qo'yib quyidagini topamiz:

$$k = mb/(4mV), \qquad (3)$$

bu formula bo'yicha hisoblasak,

$$k = 0{,}91\ \%.$$

Binobarin, molekulalarning xususiy hajmi idish hajmining 0,91 % ini tashkil qiladi.

Masalaning ikkinchi savoliga javob berish uchun

$$k_1 = p'/p$$

nisbatni topish kerak.

(2) tenglamadan ko'rinadiki,

$$p' = \frac{\nu^2 a}{V^2} \quad \text{ёки} \quad p' = \left(\frac{m}{\mu}\right)^2 \frac{a}{V^2}, \qquad (4)$$

buyerda *a* — bir *mol* uchun Van—der—Vaals doimiysi.

(4) formula bo'yicha hisoblashlarni bajarsak,

$$r' = 179\ kPa.$$

Gazning idish devorlariga ko'rsatayotgan bosimi p ni (2) tenglamadan topamiz:

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - n^2\frac{a}{V^2}.$$

Bu formula bo'yicha hisoblab, quyidagini olamiz:

$$p = 2{,}84 \cdot 10^6\ Pa$$

p′ va p larning qiymatlarini (3) ifodaga ko'yib, hisoblasak,

$$K_1 = 6{,}3\%$$

Binobarin, molekulalarning tortishish kuchlari natijasida vujudga keladigan gaz bosimi gazning idish devorlariga bosimining 6,3 % ini tashkil qiladi.

2– masala. Modda miqdori ν = 1 *mol* bo'lgan karbonat angidrid kritik holatda turibdi. Gaz izobarik qizdirilganda uning V hajmi k = 2 marta oshdi. Agar kritik temperaturasi T_k = 304 K bo'lsa, gaz temperaturasining o'zgarishi ΔT aniqlansin.

Echilishi. Masalaniyechish uchun Van–der–Vaals tenglamasining keltirilgan shaklidan, yani real gazning bosimi r, molyar hajmi V_m va temperaturasi T mos kritik parametrlar bilan

$$p = p / p_к;$$

$$w = V / V_к;$$

$$t = T / T_к$$

ko'rinishdagi munosabatlar kabi tasvirlangan shaklidan foydalanish qulay. Bu tengliklardan quyidagilarni olamiz:

$$p = p \cdot p_к;$$

$$V = wV_к;$$

$$T = tT_к.$$

Bunga p_k, V_k va T_k larning Van–der–Vaals doimiylari *a* va *b* lar orqali ifodalarini qo'yib quyidagilarni olamiz:

$$p = \frac{a}{27b^2}p;$$

$$V = 3bw;$$

$$T = \frac{8a}{27bR}t.$$

p, V va T lar uchun olingan ifodalarni oddiy Van–der–Vaals tenglamasiga qo'yamiz

$$\left[\frac{a}{27b^2}p + \frac{a}{(3bw)^2}\right][3bw - b] = R\frac{8a}{27bR}t.$$

Bu ifodani *a*/(27b) ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$\left(p + 3/w^2\right)\cdot(3w - 1) = 8t.$$

Bu ifoda Van der–Vaals tenglamasining keltirilgan shaklidir. U gazning xususiy xossalarini ifodalovchi hech qanday parametrlarga ega emas va shuning uchun ham universaldir.

Endi masalaning savoliga javob beraylik. Bosim o'zgarmay qolganligi tufayli π = 1 shartga ko'ra gazning molyar hajmi ikki marta oshdi, yani $V_2 = 2V_k$, binobarin, w = 2. (I) tenglamadan keltirilgan temperatura τ ni ifodalaymiz

$$t = \frac{1}{8}\left(p + \frac{3}{w^2}\right)(3w - 1).$$

Buyerga π va w larning qiymatlarini qo'yib hisoblasak,

$$\tau = 35/32.$$

Temperatura T yuqorida qayd qilingandek keltirilgan τ va kritik T_k temperaturalar bilan $T = \tau T_k$ munosabat orqali bog'langan. Shu formula bo'yicha hisoblash o'tkazsak,

T = 332 K.
ΔT = 28 K

3–masala. Havoning temperaturasi t = 16^0S , nisbiy namligi η = 60 % ni tashkil qiladi. Bo'yash ishlarini amalga oshirish uchun namlik η_b= 70% dan oshmasligi zarur bo'lsa temperaturani qancha Δt ga kamayishiga yo'l qo'yish mumkin? Havodagi bug' miqdori o'zgarmaydi, deb hisoblang.

Echilishi. t = 16^0S da havoning ρ absolyut namligi $h = \frac{r}{r_0}100\,\%$ ifodadan topiladi: $r = \frac{h r_0}{100\,\%}$. Buyerda ρ_0= $13.6\cdot10^{-3}$ kg/m^3 shu temperaturadagi to'yingan bug' zichligi. Hisoblash o'tkazib ρ= $8.16\cdot10^{-3}$ kg/m^3 ni olamiz. Mazkur zichlik qaysi temperaturada η_b =70% nisbiy namlikni tashkil etishini aniqlash kerak:

$$h_б = \frac{r}{r_{об}}100\,\%,$$

buyerda ρ_{ob} o'sha t_1 temperaturada havoni to'yintiruvchi bug'ning zichligi. Bundan:

$$r_{îá} = \frac{r\cdot100\%}{h_á} - \frac{8{,}16\cdot10^{-3}\,kg/m^3\cdot100\%}{70\ \%} = 11{,}7\cdot10^{-3}\ kg/m^3.$$

Jadvaldan ρ_{ob} ga to'g'ri kelgan temperaturani aniqlaymiz. t_b =13^0S. Temperatura Δt = t - t_0 = 3^0 C ga kamayishi mumkin.

Masalalar

437. 300°K temperaturali 1 *mol* argon 1 *l* hajmni egallaydi.
a) argon ideal gaz xossalariga ega deb hisoblab;
b) bosimga doir Van–der–Vaals tuzatmasini etiborga olib, lekin hajmga doir tuzatmani tashlab yuborib;
v) hajmga doir tuzatmani etiborga olib, lekin bosimga doir tuzatmani tashlab yuborib;
g) har ikki Van–der–Vaals tuzatmasini etiborga olib, argon bosimi hisoblab chiqilsin.

438. Van–der–Vaals formulasidan foydalanib, V = 20 *l* hajmli ballonga qamalgan t =13°S temperaturali, m = 1,1 *kg* massali karbonat angidrid bosimi hisoblab chiqilsin. Natija ideal gaz bosimi bilan solishtirilsin.

439. 100 *g/l* zichlikka ega bo'lgan kislorodning bosimi 70 *at* bo'lishi uchun temperatura qanday bo'lishi kerak?

440. 20 *l* sig'imli ballonda 80 *mol* qandaydir gaz joylashgan. 14°S da gaz bosimi 90 *at* ga teng; 63°S da gaz bosimi 109 *at* ga teng. Shu gaz uchun Van–der–Vaals doimiylarini hisoblab chiqing.

441. V = 10 *l* sig'imli idishda m = 0,25 *kg* massali azot bor. 1) Gazning ichki bosimi r_i ; 2) molekulalarning xususiy hajmi V' aniqlansin.

442. Modda miqdori 1 *mol* dan iborat kislorod T = 300 K temperaturada V = 0,5 *l* hajmni egallagan bo'lsa, u ko'rsatadigan bosim P aniqlansin. Olingan natija Mendeleev–Klapeyron formulasi bo'yicha hisoblangan bosim bilan solishtirilsin.

443. V = 0,3 *l* sig'imli idishda T = 300 K temperaturada modda miqdori 1 *mol* bo'lgan karbonat angidrid bor. Gazning bosimi p: 1) Mendeleev–Klapeyron formulasi bo'yicha; 2) Van–der–Vaals tenglamasi bo'yicha aniqlansin.

444. Modda miqdori 1 *mol* bo'lgan kripton T = 300 K temperaturada turibdi. Bosimni hisoblashda Van—der—Vaals tenglamasi o'rniga Mendeleev—Klapeyron tenglamasidan foydalaiishda yo'l qo'yiladigan nisbiy xatolik $\varepsilon = \Delta p/p$ aniqlansin. Hisoblashlar hajmning ikki qiymati: I) $V_1 = 2$ *l*; 2) $V_2 = 0{,}2$ *l* uchun bajarilsin.

445. Xona temperaturasida qalin devorli po'lat ballonning ichini yarmigacha suvga to'ldirdilar. Shundan keyin ballonni germetik ravishda mahkamladilar va T = 650 K temperaturagacha qizdirdilar. Shu temperaturada ballondagi suv bug'ining bosimi p aniqlansin.

446. Kislorodning bosimi p = 7 *MPa*, zichligi ρ = 100 kg/m^3. Kislorodning temperaturasi T topilsin.

447. T = 380 K temperaturada hajmi: 1) 1000 *l*; 2) 10 *l*; 3) 2 *l* bo'lgan m = 1 *kg* massali suv bug'larining bosimi p aniqlansin.

448. Van—der—Vaals tenglamasidagi *a* va *b* doimiylarning SI sistemasidagi o'lchov birliklari topilsin.

449. 2 *atm* bosimda 820 sm^3 hajmdagi 2 *g* azotning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

450. 28 *atm* bosimda 90 sm^3 hajmdagi 3,5 *g* kislorodning temperaturasi qanday bo'ladi? Gazni: 1) ideal va 2) real deb qaralsin.

451. 10^8 N/m^2 bosimda 10 *g* geliy 100 sm^3 hajmni egallaydi. Gazni: 1) ideal va 2) real deb hisoblab, uning temperaturasi topilsin.

452. 100°S temperaturada 1 *kmol* karbonat angidrid gazi berilgan. Gazni: 1) ideal va 2) real hisoblab, uning bosimi topilsin. Masalani: a) $V_1 = 1$ m^3 va b) $V_2 = 0{,}05$ m^3 hajmlar uchunyechilsin.

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

454. t = 27°S temperaturada va p = 10^7 N/m^2 bosimda 1 *kmol* kislorod bor. Berilgan sharoitda kislorodni real gaz deb hisoblab, gazning hajmi topilsin.

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

456. Kislorod uchun kritik kattaliklar T_k va p_k ni ma`lum deb, kislorod molekulasipiig effektiv diametri topilsin.

457. Normal sharoitda 1 kilomol gaz molekulalarining o'zaro tasir kuchidan hosil bo'lgan bosim topilsin. Bu gaz uchun kritik temperatura va kritik bosim mos ravishda $T_k = 417$ K va $p_k = 76$ *atm* ga teng.

458. Vodorod uchun molekulalarining o'zaro tasir kuchi juda kichik bo'lib, molekulalarning xususiy o'lchami asosiy rolni o'ynaydi. 1) Bunday yarim ideal gazning holat tenglamasi yozilsin. 2) Vodorod molekulalariniig xususiy o'lchamini hisobga olmasdan, t = 0°S temperaturada va p = $2{,}8 \cdot 10^7$ N/m^2 bosimda biror hajmdagi vodorod molekulalarining sonini hisoblaganimizda yo'l qo'yiladigan xatolik topilsin.

459. 10 *l* hajmli idishda 27°S temperaturada 0,25 *kg* azot bor. 1) Molekulalarning o'zaro tasiridan hosil bo'lgan bosim gaz bosimining qancha qismini tashkil qiladi? 2) Molekulalarning xususiy hajmi idish hajmining qancha qismini tashkil qiladi?

460. Suvning kritik zichligi topilsin.

461. Argonniig kritik bosimi va kritik temperaturasi topilsin.

462. Modda holati kritik holatga yaqinlashganda o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi cheksiz o'sa boradi. Buni tushuntirib bering.

463. Agar kritik temperatura $T_k = 126$ K va bosim $P_k = 3{,}39$ *MPa* lar malum bo'lsa, azot uchun Van—der—Vaals tenglamasidagi *a* va *b* doimiylar hisoblansin.

464. 1) Kislorodning; 2) suvning kritik temperaturasi T_k va kritik bosimi P_k hisoblansin.

465. Argon uchun kritik temperatura T_k = 151 K va kritik bosim p_k = 4,86 *MPa*. Shu berilganlar bo'yicha argonning kritik molyar hajmi aniqlansin.

466. Mustahkam kvars kolba zichligi ρ = 626 kg/m^3 bo'lgan suyuq pentan C_5H_{12} bilan qisman to'ldiriladi va uni pentan ustida faqat to'yingan bug' qoladigan qilib mahkamlanadi. Qizdirishda moddaning kritik nuqtadan o'tishini kuzatish mumkin bo'lishi uchun kolba ichki hajmining qanday ε qismini pentan egallashi kerakligi aniqlansin. Van-der-Vaals doimiysi $b=14{,}5\cdot10^{-5}$ m^3/mol.

467. Kritik holatdagi azot molekulalarining konsentrasiyasi n_k normal sharoitdagn azot molekulalarining konsentrasiyasi n_o dan necha marta katta?

468. 1) Massasi m_1 = 0,5 *g* bo'lgan kislorodning va 2) massasi m_2 = 1 *g* bo'lgan suvning kritik hajmi V_k topilsin.

469. Agar hajmi V va bosimi p mos kritik V_k va p_k qiymatlardan k = 3 marta ortiq bo'lsa, azot oksidi qanday T temperaturada turibdi? Azot oksidining kritik temperaturasi T_k = 180 K.

470. Biron bir gazning 0,5 *kmol*i V = 1 m^3 hajmni egallaydi. Gaz V_2 = 1,2 m^3 hajmgacha kengayganda, molekulalarning o'zaro tasir kuchiga qarshi A = 5800 *J* ga teng ish bajarilgan. Bu gaz uchun Van—der—Vaals tenglamasidagi *a* doimiy topilsin.

471. 1) a) 31^0S va b) 50^0S temperaturada karbonat angidrid gazini suyuq karbonat kislotaga aylantirish uchun, unga qanday bosim berish kerak? 2) 1 *kg* suyuq karbonat kislota eng ko'pi bilan qanday hajmni egallaydi? 3) Suyuq karbonat kislota to'yingan bug'ining eng katta elastikligi qanday?

472. Geliy uchun kritik kattaliklar T_k va r_k ning qiymatlarini malum deb hisoblab, kritik holatdagi geliyning zichligi topilsin.

473. t = - 200^0S temperaturada 1 *kmol* geliy V = 0,237 m^3 hajmni egallaydi. Van—der—Vaals tenglamasidagi keltirilgan kattaliklardan foydalanib, gazning bosimi topilsin.

474. Agar gazning hajmi va temperaturasi bu kattaliklarning kritik qiymatidan ikki marta kattaligi malum bo'lsa, gazning bosimi kritik bosimdan necha marta kattaligi topilsin.

475. T_k = 12b K kritik temperaturadagi modda miqdori 1 *mol* bo'lgan azotning ichki energinsi U aniqlansin. Hisoblash V hajmning quyidagi to'rtta qiymati uchun bajarilsin: 1) 20 *l*; 2) 2 *l*; 3) 0,2 *l;* 4) V_k.

476. Normal r_0 bosim va 300 K temperaturadagi massasi 132 *g* bo'lgan karbonat angidrid gazini: 1) ideal gaz; 2) real gaz deb qarab, ichki energiyasi U topilsin.

477. Massasi m = 8 *g* bo'lgan kislorod T = 300 K temperaturada V = 20 sm^3 hajmni egallaydi. Kislorodning U ichki energiyasi aniqlansin.

478. Modda miqdori ν *mol* bo'lgan neonning xajmi V_1 =1 *l* dan V_2 = 2 *l* gacha izotermik ravishda kengayganda ichki energiyasining o'zgarishi ΔU aniqlansin.

479. m = 0,1 *kg* massali karbonat angidrid gazining hajmi $V_1 = 10^3$ *l* dan to $V_2 = 10^4$ *l* gacha ortdi. Gazning bu kengayishida molekulalar ichki o'zaro tasir kuchlarining ishi A topilsin.

480. Sig'imi V_1 = 1 *l* bo'lgan idishda m = 10 *g* azot saqlanadi. Agar azot bo'shliqda V_2 = 10 *l* hajmgacha kengaysa, uning temperaturasining o'zgarishi T aniqlansin.

481. Karbonat angidrid gazining kritik temperaturasi 304 K. Tegishli bosim hosil qilib, uni 300 K temperaturada suyuq holatga o'tkazish mumkin? 310 K temperaturada—chi?

482. To'yintiruvchi suv bug'ining temperaturasi 100^0S, u biror hajmni egallab turibdi. Dastlabki temperaturani saqlagan holda bug'ning hajmnni ikki marta kamaytirsak, uning bosimi qanday o'zgaradi?

483. 16^0S temperaturada xonadagi nisbiy namlik 65% ni tashkil qiladi. Agar suv bug'ining elastikligi avvalgicha kolsa, xavoning temperaturasi 4 K ga pasayganda nisbiy namlik qanday o'zgaradi?

484. Kunduzi 20^0S da havoning nisbiy namligi 60% bo'lgan. Agar tunda temperatura 8^0S gacha pasaysa, har bir kub metr havodan qancha suv shudring ko'rinishida ajralib chiqadi?

485. Silindrda porshen ostida 290 K temperaturada 0,4 *g* suv bug'i bor. Bu bug' 40 *l* hajmni egallaydi. Qanday yo'llar bilan bug'ni to'yintirish mumkin?

486. 200^0S temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligi 100^0S temperaturada to'yingan suv bug'ining zichligidan necha marta ortiq?

487. Yoz kunida nisbiy namligi 75% va temperaturasi 30^0S bo'lgan 1 m^3 havodagi suv bug'ining og'irligi qancha?

488. V = 1 m^3 yopiq hajmdagi havoning 20^0S temperaturada nisbiy namligi 60%. Bu hajmdagi bug'ning to'yinishi uchun yana qancha suv bug'lanishi kerak?

489. Temperaturasi 18^0S va nisbiy namligi 50% bo'lgan xonada metall choynakka sovuq suv soliigan. Suvning temperaturasi qanday bo'lganda choynak terlamay qoladi?

490. 50^0S temperaturada 0,5 *g* suv bug'i 10 *l* hajmni egallaydi. 1) Bunda nisbiy namlik qanday bo'ladi? 2) Agar hajmni ikki marta izotermik kamaytirilsa, bug'ning qanday miqdori kondensasiyalanadi?

491. 0^0S temperaturada simobning zichligi 13,6 g/sm^3 ga tengligini bilgan holda, 300^0S temperaturadagi zichligi topilsin. Simobniig hajm kengayish koeffisientini doimiy hisoblab, uniig berilgan temperaturada o'rtacha qiymatini $1{,}85\cdot10^{-4}$ $grad^{-1}$ ga teng deb olinsin.

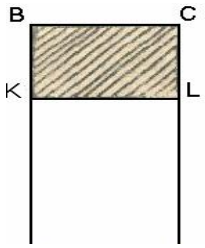
492. 0^0S temperaturada simob bilan limmo—lim to'latilgan shisha idishning og'irligi 10 *N*. Bo'sh shisha idishning og'irligi 1 *N* ga teng. Shishanipg kengayishini hisobga olmasdan, 100^0S temperaturada idishga joylashgan simobning miqdori topilsin. Simobning hajm kengayish koeffisientini $1{,}8\cdot10^{-4}$ $grad^{-1}$ ga teng deb olinsin.

493. Shisha idish 0^0S temperaturada suyuq moy bilan limmo—lim to'ldirilgai. Idish 100^0S temperaturagacha isitilganda, idishdagi moyning 6% i toshib ketgan. Shishaning hajm kengayish koeffisientini $\beta = 3\cdot10^{-5}$ $grad^{-1}$ ga teng deb olib, moyning hajm kengayish koeffisienti β_h topilsin.

494. 1) Balandligi h = 10 *mm*, ichki diametri d_1 = 50 *mm* va tashqi diametri d_2 = 52 *mm* bo'lgan gorizontal alyuminiy halqani, suv sirtidan ajratish uchun, uni qanday kuch bilan yuqoriga tortish kerak? 2) Sirt taranglik kuchi topilgan kuchning qancha qismini tashkil qiladi?

495. Ichki diametri 25 *mm* va tashqi diametri 26 *mm* li halqa deformasiya koeffisienti 10^{-3} N/mm^2 ga teng prujinachaga osilgan va halqa suyuqlik sirtiga tegib turadi. Suyuqlik sirti asta—sekin pastga tushirila borilib, prujina 5,3 *mm* ga cho'zilganda halqa suyuqlikdan ajralgan. Suyuqlikning sirt taranglik koeffisienti topilsin.

496. ABCD ramkadagi qo'zg'aluvchan KL sim sovun pardasini tarang tortib turadi (4—rasm). 1) siljiydigan KL mis sim muvozanatda bo'lishi uchun, uning diametri qanday bo'lishi



kerak? 2) Siljiydigan KL sim 1 *sm* siljiganda $4{,}5\cdot10^{-5}$ *J* ga teng ish bajarilgan bo'lsa, uning *l* uzunligi topilsin.

497. Ichki diametri 2 *mm* bo'lgan vertikal truba orqali idishdagi spirt tomib turadi. Trubadan har 1 *sekund*da bir tomchidan tushib turadi deb, 10 *g* spirtning qancha vaqtda to'kilib bo'lishini toping. Tomchining uziladigan joyining diametrini trubaning ichki diametriga teng deb olinsin.

498. Ichki diametri d = 3 *mm* bo'lgan vertikal truba orqali idishdagi suv tomib turadi. Suv $t_1 = 100^0$S dan $t_2 = 20^0$S gacha soviganda, har bir tomchining og'irligi $\Delta P = 13{,}5\cdot10^{-5}$ *N* ga o'zgargan. 20^0S temperaturada suvning sirt taranglik koeffisientini bilgan holda, 100°S temperaturadagi suvning sirt taranglik koeffisienti topilsin. Tomchining uziladigan joyining diametrini trubaning ichki diametriga teng deb olinsin.

499. Ichki radiusi r = 1 *mm* bo'lgan vertikal naydan suv tomadi. Tomchiniig uzilish vaqtidagi radiusi topilsin. Tomchini sferik deb hisoblab, tomchining uziladigan joyi diametrini nayning diametriga teng deb olinsin.

500. Har birining radiusi 1 *mm* bo'lgan ikkita simob tomchisining qo'shilishidan hosil bo'lgan tomchi necha gradusga isiydi?

501. Radiusi 3 *mm* bo'lgan simobning sferik tomchisini bir xil ikkita tomchiga ajratish uchun uning sirt taranglik kuchiga qarshi qancha ish bajarish kerak?

502. Radiusi 1 *sm* bo'lgan sovun pufagining hajmini ikki barobar orttirish uchun, uning sirt taranglik kuchiga qarshi qancha ish bajarish kerak? Sovun eritmasiniig sirt taranglik koeffisientini $43\cdot10^{-3}$ *N/m* ga teng deb olinsin.

503. Puflab sovun pufagining diametrini 1 *sm* dan 11 *sm* gacha orttirish uchun qanday A ishni bajarish kerak? Jarayon izotermik deb hisoblansin.

504. Diametri 2 *mkm* bo'lgan havo pufagi suvning ayni sirtida turibdi. Agar suv sirti ustidagi havo normal sharoitda turgan bo'lsa, pufakdagi havo zichligi r aniqlansin.

505. Agar sovun pufagining diametri 5 *mm* bo'lsa, pufak ichidagi havo bosimi r atmosfera bosimi r_o dan qancha katta?

506. O'lchamlari 10*sm* x 10*sm* dan bo'lgan o'zaro parallel joylashgan ikkita shisha plastinkalar orasidagi masofa *l* = 22 *mkm* bo'lib, oralaridagi bo'shliq suv bilan to'ldirilgan bo'lsa, bu plastinkalarni bir—biriga siquvchi F kuch aniqlansin. Menisk botiq, diametri esa plastinkalar orasidagi masofaga teng deb hisoblansin.

507. Gliserin kapillyar nayda H = 20 *mm* balandlikka ko'tarildi. Agar nay kanalining diametri 1 *mm* bo'lsa, gliserinning sirt tarangligi aniqlansin.

508. Kosachali simob barometrning shisha nayi kanalining diametri 5 *mm*. Bunday barometr bilan hisoblaganda atmosfera bosimining to'g'ri qiymatini olish uchun qanday tuzatma kiritish kerak?

509. Ichki diametrlari 0,05 *sm* va 0,1 *sm* bo'lgan ikkita tik kapillyar nay pastki uchlari bilan suyuqlikka tushirilgan. Naylardagi suyuqlik sathlarining farqi $\Delta h = 11{,}6$ *mm*. Suyuqlikning zichligi $\rho = 0{,}8$ g/sm^3. Suyuqlikning sirt taranglik koeffisienti topilsin.

510. Diametri 0,5 *mm* bo'lgan kapillyar nay suv bilan to'ldirilgan. Nayning pastki uchida suv tomchi ko'rinishida osilib qoldi. Bu tomchini radiusi r = 3 *mm* bo'lgan sharning bir qismi sifatida qabul qilish mumkin. Naydagi suv ustunining balandligi h topilsin.

511. Agar oralaridagi masofa 0,2 *mm* bo'lsa, o'zaro parallel bo'lgan ikkita shisha plastinka orasidagi suv qanday balandlikka ko'tariladi?

512. Suv sirtidan 20 *sm* chuqurlikda bo'lgan 0,01 *mm* diametrli havo pufakchasidagi havoning bosimi (mm sim. ust. larida) aniqlansin. Tashqi bosim 765 *mm sim. ust.* ga teng.

513. Havo pufagi suv sirtidan qanday chuqurlikda bo'lganda, undagi havoniig zichligi 2 kg/m^3 ga teng bo'ladi? Pufakning diametri 0,015 mm, temperaturasi 20°S va atmosfera bosimi 760 *mm sim. ust.* ga teng.

514. Suv sirtidan 5 *m* chuqurlikda bo'lgan havo pufagidagi havoning zichligi atmosfera ostidagi zichligidan (birday temperaturada) necha marta katta? Pufakniig radiusi $5 \cdot 10^{-4}$ *mm*.

515. Suvli idishga diametri 1 *mm* bo'lgan, ikki uchi ochiq kapillyar paycha tushirilgan. Idishdagi va kapillyar naychadagi suv sathi balandliklarining farqi 2,8 *sm* ga teng. 1) kapillyar naychadagi suv meniskining egrilik radiusi nimaga teng? 2) Agar suv to'la ho'llovchi bo'lsa, idishdagi va kapillyar naychadagi suv sathi balandliklarining farqi nimaga teng bo'lar edi?

516. Diametrlari 1 *mm* va 2 *mm* bo'lgan tutash kapillyar naychadagi simob sathi balandliklarining farqi topilsin. Simob to'la ho'llamaydi deb hisoblansin.

517. Ichki diametri 2 *mm* bo'lgai kapillyar naycha suyuqlikka tushirilgan. Kapillyar naychada ko'tarilgan suyuqlikning og'irligi $9 \cdot 10^{-4}$ *N* bo'lsa, suyuqlikning sirt taranglik koeffisienti topilsii.

518. Barometrik naychaning ichki diametri: 1) 5 *mm* va 2) 10 *mm* ga teng bo'lganda, atmosfera bosimi simob ustunining balandligi orqali hisoblanganda 760 *mm sim. ust.* bo'lsa, qanday nisbiy xatolikka yo'l qo'yilgan bo'ladi? Simobni to'la ho'llamaydi deb hisoblansin.

519. Simob solingan idishning tubida teshigi bo'lib, simob ustunining balandligi 3 *sm* ga teng bo'lganda idishdagi simob oqib ketmasligi uchun, teshikning diametri eng ko'pi bilan qanday bo'lishi kerak?

520. Kesim yuzi S = 30 sm^2 bo'lgan shisha idishning tubida 0,5 *mm* diametrli teshik bo'lib, unga simob quyiladi. Idishda qancha miqdorda simob qoladi?

521. Bir—biridan 0,25 *mm* masofada joylashgan ikkita vertikal yassi—parallel shisha plastiikalarning orasiga suyuqlik quyilgan. Agar plastinkalar orasidagi suyuqlik 3,1 *sm* ga ko'tarilganligi malum bo'lsa, suyuqlikning zichligi topilsin (σ = 30 *dina/sm*). Suyuqlik to'la ho'llovchi deb hisoblansin.

522. Suvning sirt tarangligini aniqlash uchun kapillyardan ajralayotgan tomchilar tarozida tortiladi va tomchiiing' ajralish momentidagi bo'yinchasi diametri o'lchanadi. Malum bo'lishicha, 318 ta tomchining massasi 5 *g* ga teng va d = 0,7 *mm* ekan. Suvning sirt tarangligini toping.

523. Vertikal kapillyar shisha naycha tarozi shayinga osilgan va toshlar yordamida muvozanatlangan. Agar kapillyar naycha ostiga asta—sekin suvli idishni kapillyarning uchi suv sirtiga tegadigan qilib yaqinlashtirsak, tarozi qanday o'zgaradi?

524. Suyuqlik pardasi U ichki energiyasiniig ifodasini toping.

525. Sovun pardasi 10^{-3} *mm* qalinlikka va 300 K temperaturaga ega. Pardani uning yuzi ikki marta ortadigan qilib adiabatik cho'zgandagi temperatura pasayishini hisoblang. Sovun eritmasining sirt tarangligi temperatura 1 K ko'tarilganda 0,15 *dina/sm* kamayadi.

526. Diametri 1 *mkm* bo'lgan simob tomchisida 15°S temperaturadagi qo'shimcha P bosim nimaga teng? Simobning shu temperaturadagi sirt tarangligi 487 *dina/sm*.

527. Agar sovunli suvning sirt tarangligi 40 *dina/sm* bo'lsa, diamstri 0,8 *sm* bo'lgan sovun pufagi ichidagi qo'shimcha R bosim nimaga teng?

528. Chuqurligi 2 *m* bo'lgan hovuz tagida diametri 0,5 *mm* bo'lgan gaz pufakchalari ajraladi. Shu pufakchalar suv sirtiga ko'tarilganda diametrlari nimaga teng bo'ladi? Suvning sirt tarangligi 73 *dina/sm*.

529. Diametri 1 *mm* bo'lgan kapillyarda suyuqlik 32,6 *mm* balandlikka ko'tariladi. Shu suyuqlikning sirt tarangligi topilsin. Suyuqlikning zichligi 1 g/sm^3. Meniskning chegaraviy burchagi nolga teng.

530. d_1 va d_2 diametrli ikkita tutash kapillyarlardagi suyuqlik sathlarining farqi qanday? Suyuqlikning sirt tarangligi σ ga teng. Menisklarning chegaraviy burchaklari nolga teng. Suyuqlikning zichligi ρ.

531. Diametrlari 0,1 *mm* va 0,3 *mm* bo'lgan ikki tutash kapillyardagi suvni 20 dan 70°S gacha qizdirganda sathlar farqi $h_1 - h_2$ qanchaga o'zgaradi? Suvning shu temperaturalardagi sirt tarangligi mos ravishda 73 va 64 *dina/sm* ga teng.

532. Vertikal joylashtirilgan *l* uzunlikdagi va *r* radiusli shisha kapillyar yuqori uchidan kavsharlangan. Agar uning pastki uchi suv yuziga tekkizilsa, suv kapillyarda qanday balandlikka ko'tariladi?

533. Ikkita shisha plastinka vertikal holda qisman suvga tushirilgan. Ular orasidagi masofa 0,5 *mm* bo'lsa, suv plastinkalar orasida qanday balandlikka ko'tariladi? Suv uchun $\sigma = 73$ *dina/sm*. Bu holda chegaraviy burchak θ ni nolga teng deb hisoblash mumkin.

534. Suyuqlikka qisman tushirilgan ikkita vertikal shisha plastinka o'zaro juda kichik ikki yoqli α burchak hosil qiladi. Suyuqlikning ko'tarilish balandligi h ni ikki yoqli burchak qirrasidan hisoblangan masofaning funksiyasi sifatida topilsin.

535. Ikkita yassi va o'zaro parallel, suvda ho'llanadigan shisha plastinkalar orasiga 0,1 *g* massali suv tomchisi kiritilgan. Chegaraviy burchak $\theta = 0°$. Agar plastinkalar bir—biridan 10^{-4} *sm* masofada turgan bo'lsa, ular o'rtasidagi tortishish kuchi qanday? Suvning 18°S dagi sirt tarangligi 73 *dina/sm*.

536. Ichki kanalining diametri 0.5 *mm* bo'lgan (shisha) nayni spirtga ozgina botirilgan. Nayga kirgan spirtning R og'irligi qancha?

537. Ichki diametrlari 0,2 *mm* va 0,3 *mm* bo'lgan ikki shisha nay ost tomonidan rezinka nay vositasida tutashtirilgan va suv bilan to'ldirilgan. qanday sharoitda har ikki naylardagi suv sathi bir xil bo'ladi?

538. Ichki kanali diametri 2 *mm* bo'lgan kapillyar shisha nayga 1,5 *mm* diametrln shisha tayoqcha tiqilgan, bunda kanaldagi tayoqcha atrofidagi bo'shliq hamma joyda bir xil kenglikda bo'lgan. Kanalda suvning ko'tarilish balandligi aniqlansin.

539. Shisha kapillyar nayning ichki kanali diametri 0,2 *mm*, uzunligi 20 *sm* bo'lib, uni vertikal vaziyatda suvga botiriladi. Nayning ustki uchi kavsharlanib berkitilgan. Kapillyar nay—ichidagi suv sathining tashqaridagi suv sathiga teng bo'lishligi uchun nayning qancha *x* qismini suvga botirish kerak? Havo bosimi 750 *mm sim. ust.*

540. a) Ichki kanali diametri 1,5 *mm* uzunligi 20 *sm* bo'lgan shisha kapillyar nayni gorizontal vaziyatda (ichidagi havoni tashqariga chiqarib yubormasdan) simobga botiriladi. Uni 10 *sm* chuqurlikkacha tushirilganda nay ichidagi havo ustunining uzunligi qancha bo'ladi? Havo bosimi normal bosimga teng.

b) Xuddi shu masalani 0,5 *sm* chuqurlikkacha botirilgan hol uchunyechilsin.

541. 27°S temperaturada 110 *g* benzolda eritilgan 8 *g* naftalinning ($S_{10}N_8$) osmotik bosimi qancha? (Naftalin benzolda eriganda dissosiasiyalanmaydi.)

542. 500 sm^3 suvda 1,5 *g* natriy xlorid eritilgan. Agar natriy xloridning hammasi to'la dissosiasiyalangan deb hisoblanilsa, 0°S temperaturada eritmadagi osmotik bosim qancha?

543. 100 sm^3 suvda 0,4 *g* mis xlorid ($CuCl_3$) eritilganda hosil bo'lgan eritmanikiga teng bo'ladigan osmotik bosimli eritma olish uchun o'sha temperaturada va o'sha hajmli suvda qancha miqdor natriy xlorid (NaCl) eritish kerak? Har ikki holda ham eritilgan modda to'la dissosiasiyalanadi deb hisoblansin.

544. 10 *g* shakar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 *l* suvda eritilganda, eritmaning osmotik bosimi $1{,}52 \cdot 10^5$ N/m^2 ga teng. Eritma qanday temperaturada bo'lgan? Shakar molekulalari dissosiasiyalanmaydi.

545. 87°S temperaturada eritmaning osmotik bosimi $1{,}65 \cdot 10^5$ N/m^2 ga teng. Suvning qancha molekulasi eritmada eritilgan moddaning bitta molekulasiga to'g'ri keladi? Dissosiasiyalanish bo'lmaydi.

546. 0,5 *l* suvda 2 *g* osh tuzi eritilgan. Osh tuzi molekulalariniig dissosiasiya darajasi 75% ga teng. 17°S temperaturada eritmaning osmotik bosimi topilsin.

547. 18°S temperaturada 2,5 *g* osh tuzi 1 *l* suvda eritilgan. Eritmaning osmotik bosimi $1{,}6 \cdot 10^5$ N/m^2 ga teng. 1) Bu holda osh tuzi molekulalariniig dissosiasiya darajasi qanday? 2} 1 sm^3 eritmada eritilgan moddaning qancha zarrachasi bo'ladi?

548. 40 *g* shakar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 *l* suvda eritilgan. Eritmaning temperaturasi 50^0S ga teng. Eritma ustidagi to'yingan suv bug'ining bosimi nimaga teng?

549. 30^0S temperaturada eritma ustidagi to'yingan bug'ning bosimi 31,5 *mm sim. ust.* ga teng. 60°S temperaturada bu eritma ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi topilsin.

550. Eritma ustidagi to'yingan bug'ning elastikligi sof suv to'yingan bug'ining elastikligidan 1,02 marta kichik. Erigan moddaning bitta molekulasiga suvning qancha molekulasi to'g'ri keladi?

551. Uchuvchan bo'lmagan moddadan 100 *g* olib 1 *l* suvda eritilgan. Eritmaning temperaturasi 90^0S ga, eritma ustidagi to'yingan bug'ning bosimi 515,9 *mm sim. ust.* ga teng. Eritilgan moddaning bir *kilomol*i massasi aniqlansin.

X. Qattiq jismlar.

Kristallning molyar hajmi:

$$V_m = \mu/\rho\ , \qquad (1)$$

bundagi μ — moddaning molyar hajmi; ρ — kristallning zichligi.

Bir *mol* kristalldagi elementar katakchalar soni:

$$Z_m = V_m/V, \qquad (2)$$

bundagi V — kristalldagi elementar katakchaning hajmi.

Kubsimon panjaraning parametri *a*:

$$a = \sqrt{\frac{nm}{rN_0}}\ , \qquad (3)$$

bunda n — elementar katakchaga to'g'ri keluvchi atomlar soni.

Kubsimon panjaradagi qo'shni atomlar orasidagi masofa:

$D = \frac{a}{\sqrt{2}}$ - qirrasi markazlashgan panjara uchun;

$D = \frac{\sqrt{3}a}{2}$ - hajmiy markazlashgan panjara uchun.

Guk qonuniga ko'ra bo'yiga cho'zilish (yoki siqilish) deformasiyasida sterjen uzunligining nisbiy o'zgarishi:

$$\frac{Dl}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}, \qquad (4)$$

bunda F - cho'zuvchi (siquvchi) kuch, S - sterjen ko'ndalang kesimining yuzi, E - elastiklik (Yung) moduli.

Bo'yiga uzayganda sterjen qalinligining nisbiy o'zgarishi:

$$\frac{Dd}{d} = b\,\frac{F}{S}, \qquad (5)$$

Bunda *b* - ko'ndalang siqilish koeffisienti, *s = E/b* kattalik Puasson koeffisienti deyiladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli *Dt* vaqtda ko'chirilgan issiqlik miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q = -l\,\frac{DT}{Dx} \cdot DS \cdot Dt\,, \qquad (6)$$

bundagi $\frac{DT}{Dx}$ esa ΔS yuzaga tik yo'nalishdagi temperatura gradienti, λ- issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti.

Dyulong—Pti qonuni. Bir xil atomlardan tashkil topgan qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi:

$$C_m = 3R, \qquad (7)$$

formula bilan ifodalanadi, R - universal gaz doimiysi.

Kimyoviy murakkab (turli atomlardan tashkil topgan) qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi (Neyman-Kopp qonuni):

$$C_m = n_0 \cdot 3R, \qquad (8)$$

bunda n_0 - birikmaning kimyoviy ifodasidagi zarralarning umumiy soni.

Eynshteynning kvant nazariyasiga ko'ra qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi:

$$C_m = 3R(Q_E/T)^2 \frac{exp(Q_E/T)}{(exp(Q_E/T)-1)^2} \qquad (9)$$

bunda $\Theta_E = h\nu/k$ - Eynshteynning xarakteristik temperaturasi, T - termodinamik temperatura, k - Bolsman doimiysi.

Debay nazariyasi bo'yicha qattiq jismlarning molyar issiqlik sig'imi:

$$C_m = 3R\left[12(T/Q_D)^3 \int_0^{Q_D/T} \frac{x^3 dx}{exp(x)-1} - \frac{3(Q_D/T)}{exp(Q_D/T)-1}\right] \qquad (10)$$

bunda - $\Theta_D = h\nu_{max}/T$ Debayning xarakteristik temperaturasi.

Masala yechish namunalari

1−masala Kalsiy kristallining panjara parametri *a* va eng yaqin qo'shni atomlar orasidagi masofa *d* aniqlansin (qirrasi markazlashtirilgan kubsimon panjara). Kalsiy kristallining zichligi $\rho = 1{,}55 \cdot 10^3$ kg/m^3.

Yechilishi. Kubsimon panjaraning *a* parametri eng sodda katakchaning hajmi bilan $V = a^3$ munosabat orqali bog'langan.

Boshqa tomondan, eng sodda katakchaning hajmi molyar hajmning bir *mol* kristalldagi eng sodda katakchalar soniga nisbatiga teng: $V = V_m / Z_m$. V uchun keltirilgan ifodalarning o'ng tomonlarini tenglashtirib, quyidagini topamiz:

$$a^3 = V_m / Z_m. \qquad (1)$$

Kalsiyning molyar hajmi $V_m = \mu/\rho$, bunda ρ − kalsiyning zichligi; μ − uning molyar massasi. Bir moldagi eng sodda katakchalar soni

$$Z_m = N_a/n$$

bunda n − bitta katakchaga to'g'ri keluvchi atomlar soni. Qirrasi markazlashgan kubsimon elementar yacheyka uchun n = 4.

V_m va Z_m lar uchun keltirilgan formulalarni (1) formulaga qo'yib quyidagini olamiz

$$a^3 = n\mu/(\rho N_a).$$

Bundan

$$a = \sqrt{nm/(rN_a)} \qquad (2)$$

n = 4 ligini hisobga olib n, μ, ρ va N_a kattaliklarning qiymatlarini (2) formulaga qo'yamiz va *a* ning qiymatini hisoblab topamiz:

$$a = 556 \text{ pm}.$$

Eng yaqin qo'shni atomlar orasidagi d masofa

$$d = a/\sqrt{2} \text{ ga teng.}$$

Bu ifodaga *a* ning oldin topilgan qiymatini qo'ysak,

$$d = 393 \text{ pm}$$

2−masala. Agar isitish: 1) $T_1 = \theta_D$; 2) $T_2 = 2$ K temperaturalardan boshlansa, unda shu ikki hol uchun m = 20 *g* massali NaCl kristallini ΔT = 2 K ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori ΔQ aniqlansin. NaCl uchun Debayning xarakteristik temperaturasi $\theta_D = 320$ K ga teng deb qabul qilinsin.

Yechilishi. Jismni T_1 temperaturadan T_2 gacha isitish uchun berilishi kerak bo'lgan ΔQ issiqlik miqdori

$$DQ = \int_{T_1}^{T_2} CdT \qquad (1)$$

formula yordamida hisoblanishi mumkin, bunda S – jismning (tizimning) issiqlik sig'imi.

Jismning issiqlik sig'imi molyar issiklik sig'im C_m bilan $C = (m/\mu)S_m$ munosabat orqali bog'langan, bunda m – jismning massasi; μ – molyar massa. S ning bu ifodasini (1) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$DQ = (m/m)\int_{T_1}^{T_2} C_m dT. \qquad (2)$$

Umumiy holda C_m temperaturaning funksiyasidir, shuning uchun uni integral belgisidan tashqariga chiqarish mumkin emas. Lekin birinchi holda issiqlik sig'imining o'zgarishini uning T_1 temperaturadagi qiymatiga nisbatan inobatga olmaslik va uni ΔT temperaturalarning barcha oralig'ida o'zgarmas holda $C_m(T_1)$ ga teng deb qabul qilish mumkin. Shuni nazarda tutganda (2) formula

$$DQ = (m/m)C_m(T_1)DT \qquad (3)$$

ko'rinishni oladi. Debay nazariyasiga muvofiq molyar issiqlik sig'imi $C_m(T_1)$ quyidagi formula bilan ifodalanadi

$$C_m(T_1) = 3R\left[12(T_1/q_D)^3 \int_0^{q_D/T} \frac{x^3 dx}{exp(x)-1} - \frac{3(q_D/T)}{exp(q_D/T)-1}\right]$$

Birinchi holda $T = \theta_D$ da integral

$$\int_0^{q_D/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \int_0^1 \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = 0{,}25$$

bo'ladi va demak,

$$C_m = 2{,}87 \cdot R$$

C_m ning bu qiymatini (3) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz

$$DQ = 2{,}87(m/m)RDT \qquad (4)$$

(4) formulaga binoan hisoblab, ΔQ ni topamiz:

$$\Delta Q = 16{,}3 \quad j$$

Ikkinchi ($T \ll \theta_D$) holda ΔQ ni topish Debayning chegaraviy qonunidan foydalanish mumkinligi bilan osonlashadi. Unga binoan issiqlik sig'imi mutloq temperaturaning uchinchi darajasiga proporsionaldir. Bu holda issiqlik sig'imi temperaturaning berilgan oralig'ida keskin o'zgaradi va uni (2) formulada integral belgisidan tashqariga chiqarish mumkin emas.

Debayning chegaraviy qonunining ifodasi

$$C_m = \frac{12p^4}{5} R\left(\frac{T}{q_D}\right)^3 \qquad (5)$$

dan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$\Delta Q = \frac{12p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}\int_{T_2}^{T_2+\Delta T} T^3 dT$$

Integrallash amalini bajaramiz:

$$DQ = \frac{12p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}\left[\frac{(T_2+DT)^4}{4} - \frac{T_2^4}{4}\right]$$

$T_2+\Delta T = 2T_2$ ekanligini hisobga olsak, (5) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi

$$DQ = \frac{3p^4}{5}\frac{m}{m}\frac{R}{q_D^3}15T_2^4 \quad ёки \quad DQ = 9p^4\frac{m}{m}R\frac{T_2^4}{q_D^3}$$

Oxirgi formulaga π, m, μ, R, T va θ_D kattaliklarning qiymatlarini qo'yib va hisoblab,

$$\Delta Q = 1{,}22\ mJ.$$

natijani topamiz

Masalalar

552. Quyidagi hollarda bitta eng sodda katakchaga nechta atom to'g'ri keladi: 1) kubsimon oddiy panjara; 2) hajmi markazlashtirilgan rombsimon panjara; 3) qirrasi markazlashtirilgan kubsimon panjara; 5) geksagonal singoniyali oddiy panjara; 6) zich joylashgan geksonal tuzilishli?

553. Quyidagi hollarda V = 1 m^3 hajmli kristalldagi eng sodda katakchalar soni aniqlansin: 1) seziy xlorid (hajmi markazlashtirilgan kubsimon panjara); 2) mis (qirrasi markazlashtirilgan kubsimon panjara); 3) zich joylashgan geksogonal tuzilishga ega kobalt.

554. Agar panjarasi qirrasi markazlashtirilgan kubsimon ekanligi malum bo'lsa, neon kristallining 20 K dagi zichligi ρ topilsin. Shu temperaturada panjara doimiysi a = 0,452 *nm*.

555. Agar panjarasining qirrasi markazlashtirilgan kubsimon singoniyali ekanligi va eng yaqin qo'shni atomlari orasidagi d masofa 0,43 *nm* ga tengligi malum bo'lsa, stronsiy kristallining zichligi ρ topilsin.

556. Agar eng yaqin qo'shni atomlari orasidagi d masofa 0,304 *nm* ga teng bo'lsa, kristallning nisbiy atom massasi aniqlansin. Panjara hajmi markazlashtirilgan kubsimon singoniyali. Kristallning zichligi ρ = 534 kg/m^3.

557. Quyidagi kristallarning panjara doimiysi a va eng yaqin qo'shni atomlari orasidagi d masofa topilsin: 1) alyuminiy (qirrasi markazlashtirilgan kubsimon panjara); 2) volfram (hajmi markaz—lashtirilgan kubsimon panjara).

558. Zich joylashgan geksogonal tuzilishga ega bo'lgan magniy kristalli panjarasining doimiylari *a* va s lar aniqlansin. Magniy kristallining zichligi ρ =$1{,}74\cdot10^3$ kg/m^3.

559. Kubsimon panjarada sanoq tizimining boshi va kristallografik ko'rsatkichlari: 1) [[242]]; 2) [[112]] bo'lgan tugun orqali o'tuvchi to'g'ri chiziqlar yo'nalishlarining ko'rsatkichlari yozilsin.

560. Dyulong va Pti qonunidan foydalanib: 1) misning, 2) temirning, 3) alyuminiyning solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

561. Agar 0,025 *kg* og'irlikdagi metall sharchani 10°S dai 30°S gacha isitish uchun 117 *J* issiqlik sarflangan bo'lsa, Dyulong va Pti qonunidan foydalanib, sharcha qanday materialdai yasalganligi topilsin.

562. Dyulong va Pti qonunidam foydalanib, alyuminiyning solishtirma issiqlik sig'imi platinaning solishtirma issiqlik sig'imidan necha marta ko'pligi topilsin.

563. 400 *m/sek* tezlik bilan qo'rg'oshin o'q devorga uriladi va unda tiqilib qoladi. O'q kinetik energiyasining 10% uni isitishga sarf bo'ladi deb hisoblab, o'qning necha gradusga isiganligi topilsin. Ko'rg'oshinning solishtirma issiqlik sig'imi Dyulong va Pti qonunidan topilsin.

564. Klassik nazariyadan foydalanib NaCl va $CaCl_2$ kris—tallarining solishtirma issiqlik sig'imlari C hisoblansin.

565. Issiqlik sig'imining klassik nazariyasiga binoan V = 1 m^3 hajmli alyuminiy bromid $AlBr_3$ kristallining issiqlik sig'imi C hisoblansin. Alyuminiy bromid kristallining zichligi $\rho = 3{,}01\cdot10^3$ kg/m^3,

566. T_1 = 0°S dan T_2 = 200°S gacha isitishda nikel kristallining ichki energiyasining o'zgarishi ΔU aniqlansin. kristallning massasi m = 20 *g*. Issiqlik sig'imi C hisoblansin.

567. N = 10^{25} ta klassik uch o'lchovli erkli garmonik ossilyatorlardan tashkil topgan tizimning energiyasi U va issiqlik sig'imi C aniqlansin. Temperatura T = 300 K.

568. Agar kumush uchun xarakteristik temperatura θ_E = 165 K bo'lsa, Eynshteynning issiqlik sig'imi nazariyasiga muvofiq kumush atomlarining tebranish chastotasi topilsin.

569. Eynshteynning issiqlik sig'imi haqidagi kvant nazariyasidan foydalanib kristallni T = $\theta_E/2$ temperaturadan ΔT = 2K gacha qizdirishda uning molyar ichki energiyasining o'zgarishi ΔU_m hisoblansin.

570. Eynshteynning issiqlik sig'imi nazariyasidan foydalanib kristallni noldan to $T_1 = 0{,}1\theta_E$ gacha qizdirishda uning molyar ichki energiyasining o'zgarishi ΔU_m aniqlansin. Mazkur kristall uchun Eynshteynning xarakteristik temperaturasi 300 K deb qabul qilinsin.

571. Agar issiqlik sig'imi C ni xisoblashda Eynshteyn nazariyasi asosida olinadigan (T=θ_E da) qiymat o'rniga Dyulong va Pti qonuni asosida olinadigan qiymatdan foydalanilsa, u holda yo'l ko'yiladigan nisbiy xatolik aniqlansin.

572. Eynshteyn nazariyasiga binoan rux kristallining nolinchi molyar energiyasi U_{m0} hisoblansin. Rux uchun xarakteristik temperatura θ_E =230 K.

573. Debay nazariyasi bo'yicha mis kristalining molyar nolinchi energiyasi U_{m0} hisoblansin. Misning xarakteristik temperaturasi θ_D = 320 K.

574. Debay nazariyasi bo'yicha oltin kristalidagi xususiy tebranishlarning maksimal chastotasi w_{max} aniqlansin. Xarakteristik temperatura θ_D =180 K.

575. Agar T = 20 K da kumushning molyar issiqlik sig'imi C=1,7 *J/molK* ekanligi ma`lum bo'lsa, Debayning maksimal chastotasi w_{max} hisoblansin.

576. Agar Debay nazariyasi beradigan (T = θ_D da) qiymat o'rniga, Dyulong va Pti qonuni beradigan qiymatdan foydalanilsa, u holda kristallning issiqlik sig'imini hisoblashda yo'l qo'yiladigan nisbiy xatolik aniqlansin.

577. Umumiy sirti S bo'lgan yupqa devorli berk metall idishga t_1 temperaturali suyuqlik quyilgan. Agar suyuqlikning massasi m, solishtirma issiqlik sig'imi c, idish tashqarisidagi havoning temperaturasi t_3, metall—havo chegarasida issiqlik almashinish koeffisienti α bo'lsa, idishdagi suyuqlik qancha τ vaqtdan keyin t_2 temperaturagacha soviydi?

578. Issiqlikdan izolyasiyalovchi silindrik qatlam qoplangan yupqa devorli r q1 sm radiusli uzun nay orqali issiq suv oqadi. Izolyasiyalovchi qatlamning issiqlik o'tkazuvchanligi $6\cdot10^{-4}$ *kal/(s×sm×°S)*, nay va izolyasiyalovchi qatlam orasida issiqlik almashinish koeffisienti $\alpha = 5\cdot10^{-4}$ *kal/(s×sm²×°S)*. 1) Izolyasiyalovchi qatlam tashqi radiusi R ning qanday qiymatida issiqlik yo'qolishi maksimal bo'ladi? 2) R ning qanday qiymatida issiqlik yo'qolishi izolyasiyasiz naydagi issiqlik yo'qolishidan ikki barobar kam bo'ladi?

579. Mis (qalinligi d_1= 9 *mm*) va temir (qalinligi d_2= 3 *mm*) plastinkalar ustma—ust taxlangan. Mis plastinkaning tashqi sirti t_1 = 50 ^{0}S o'zgarmas temperaturada, temirning tashqi sirti esa t_1= 0^0S temperaturada saqlanadi. Plastinkalar bir—biriga tegib turgan sirtning t_x temperaturasi topilsin. Plastinkalarning yuzi qalinligiga nisbatan juda katta.

580. Devor tashqi sirtining temperaturasi t_1 = - 20 ^{0}S, ichki sirtinnng temperaturasi esa t_2 = +20 ^{0}S va uning qalinligi 40 *sm*. Agar devorning har 1 m^2 yuzidan 1 *soat*da 110 *kkal* issiqlik o'tib tursa, devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti topilsin.

581. Polining yuzi 4 *m* x 5 *m* va balandligi 3 *m* bo'lgan xona to'rtta g'isht devori orqali bir minutda qancha issiqlik yo'qotadi? Xonaning temperaturasi t_1 = 15 ^{0}S, tashqi temperatura esa t_2 = -20 ^{0}S. G'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti 0,002 *kal/grad·sm·sek*, devorning qalinligi 50 *sm*. Pol va ship orqali yo'qotilgan issiqlik hisobga olinmasin.

582. Temir sterjenning bir uchi 100 ^{0}S temperaturada saqlanadi, ikkinchi uchi esa muzga tegib turadi. Sterjenning uzunligi 14 *sm*, ko'ndalang kesiminiig yuzi esa 2 sm^2. Sterjen shunday izolyasiyalanganki, uning aylanma sirti orqali yo'qolgan issiqlik miqdorini nazarga olinmasa ham bo'ladi. I) Sterjen bo'ylab issiqlikning oqish tezligi, 2) 40 *minut*da erigan muzning miqdori topilsin.

583. Uzunligi 50 *sm*, ko'ndalang kesimining yuzi 10 sm^2 bo'lgan mis sterjen uchlaridagi temperaturalarning farqi 15°S bo'lsa, 1 *s* da undan o'tgan issiqlik miqdori topilsin. Issiqlikniig isrofi nazarga olinmasin.

584. Suv to'ldirilgan 15 *sm* diametrli alyuminiy kastryulka plitaga qo'yilgan. Suv qaynab har minutda 300 *g* suv bug'i hosil bo'ladi. Agar kastryulka tubining qalinligi 2 *mm* bo'lsa, kastryulka tubi tashqi sirtining temperaturasi topilsin. Issiqlikning isrofi nazarga olinmasin.

585. 9 *sm* radiusli metall silindrik idishga 0 ^{0}S temperaturali muz to'ldirilgan. Bu idish 1 *sm* qalinlikdagi po'kak qatlam bilan issiqlikdan izolyasiyalangan. Agar tashqi havoning temperaturasi 25°S bo'lsa, idishdagi muz qancha vaqtda eriydi? Issiqlik faqat o'rtacha radiusi 9,5 *sm* bo'lgan idishning yon sirti orqali kirib turadi, deb hisoblansin.

586. Ko'ndalang kesimining yuzi S = 10 sm^2 bo'lgan sterjenni t_1 = 0 ^{0}S dan t_2 = 30 ^{0}S gacha isitganda cho'zilmasligi uchun, uning uchlariga qanday kuch qo'yilishi kerak?

587. 37 *sm* qalinlikdagi (bir yarim g'ishtli) devor tashqi sirtining temperaturasi −15 ^{0}S, ichki sirtiniki esa 20 ^{0}S. Bir sutkada 1 m^2 devor orqali o'tadigan issiqlik miqdori aniqlansin.

588. 6 *mm* qalinlikdagi mis plastinka bilan 4 *mm* qalinlikdagi temir plastinka jipslashtirilgan. Shu ikki plastinka jipslashmasi kabi issiqlik o'tkazuvchi bir jinsli plastinkaning (10 *mm*) issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti aniqlansin.

589. Turli temperaturali (pastkisi sovuqroq) ikki gorizontal devor orasidagi fazo gaz bilan to'ldirilgan. Agar temperaturaning ko'tarilishi bilan gazning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti ortsa, unda bu hol temperatura taqsimotiga qanday tasir qiladi?

590. Silindrik bug' trubasi issiqlik o'tkazmaydigan asbest izolyator qobiq bilan qoplangan. Kobiqning tashqi sirtining temperaturasi t_1 = 50 ^{0}S, bug' trubaga yopishib turgan qobiqning ichki sirtining temperaturasi t_2 = 120 ^{0}S.

Bug' truba uzunligi *l* = 65 *m*; asbest qobiqning tashqi diametri d_1 = 13 *sm*, ichki diametri d_2 = 7 *sm.*

Bug' trubaning bir sutkada tashqari fazoga beradigan issiqlik miqdori aniqlansin.

591. Agar temir pechning temperaturasi 200 ^{0}S, atrofidagi havoning temperaturasi 10 ^{0}S bo'lsa, unda pechning 0,5 m^2 sirtidan havoga bir soat ichida beriladigan issiqlik miqdori aniqlansin.

592. 1 *mm* radiusli po'lat simga yuk osilgan. Sim 20 ^{0}S da qancha cho'zilgan bo'lsa, bu yuk tasirida ham shuncha cho'ziladi. Yukning og'irligi topilsin.

593. 150 ^{0}S temperaturali mis sim ikkita ko'zg'almas devor orasiga tarang qilib tortilgan. Soviganda sim qanday temperaturada uziladi? Guk qonuni simning uzilishiga qadar o'rinli deb hisoblansin.

594. Biror metallni 0^0S dan 500^0S gacha isitilgaida, uning zichligi 1,027 marta kamaygan. Temperaturalarning berilgan intervalida bu metallning issiqlikdan chizikli uzayish koeffisientini o'zgarmas xisoblab, uniig qiymati topilsin.

595. Har qanday temperaturada po'lat sterjen mis sterjendan 5 *sm* uzun bo'lishi uchun po'lat va mis sterjenlarning 0 ^{0}S temperaturadagi uzunliklari qanday bo'lishi kerak?

596. 0 ^{0}S temperaturadagi og'irligi 10 *N* bo'lgan mis bo'lagini isitish uchun 33 *kal* issiqlik sarf qilingan. Bunda uning hajmi necha marta kengaygan? Misning issiqlik sig'imi Dyulong va Pti qonunidan topilsin.

Javoblar

1 . 18; 44; 58,4. **2.** 7,32 · 10^{26} *kg*; 9,7 · 10^{-26} *kg*. **3.** 7, 14 *mol*; 4,3 · 10^{24} ta. **4.** 0,125 *mol*; 7,52 · 10^{24} ta. **5.** 9,97 · 10^{-3} *mol*. **6.** $m = 28\frac{г}{моль}$; azot. **7.** 2,87 · 10^{20} ta zarra. **8.** 0,464 *nm*. **9.** 35 *mol*; 30*mol*; 65 *mol*. **10.** 1,5 *l*. **11.** 1,2 · 10^{20}. **12.** $\frac{Na}{m}; \frac{Na \cdot r}{m}; \frac{Na \cdot m}{m}; \frac{Na \cdot rn}{m}$. **13.** 6,9 · 10^{10} *m*, 180 marta. **14.** 10^6 ga yaqin. **15.** 1,67 · 10^{-27} *kg*; 6,65 · 10^{-27} *kg*. **16.** 3,3 · 10^{22}. **17.** 7,5· 10^{19} *sm* $^{-3}$. **18.** 2,4 *N/m*^{2}. **19.** 3,56 · 10^{21} ta. **20.** 4,5 · 10^{23}. **21.** 1,2 · 10^{20} *m*$^{-3}$. **22.** 2 *l*. **23.** 4,52 · 10^{28} *m*$^{-3}$. **24.** 0,25 *g*. **25.** 7,52 · 10^{25} *m*$^{-3}$. **26.** 32 *g/mol*, kislorod. **27.** 6,02 · 10^{23} *mol*$^{-1}$. **28.** 20^4 ta. **29.** 83 *g/m*^{3}. **30.** $r = 0{,}081 kg/m^3$. **31.** 1,6 · 10^{-14} *kg/m*^{3}. **32.** 2,42 · 10^{17} *m*$^{-3}$. **33.** 414 *Pa*. **34.** 3,62 · 10^{25} ta. **35.** 4,14 *kPa*. **36.** 7250 K; 1,5 · 10^{-19} *J*. **37.** 1,24 · 10^{-20} *J*; 2,48 · 10^{-20} *J*; 7,48 *MJ* . **38.** 8,28 · 10^{-21} *J*; 16,6 · 10^{-20} *J* . **39.** 2,48 *Pa*. **40.** 33 600 K. **41.** 0,11 *MPa*. **42.** 700 *m/s*. **43.** 2,3 · 10^{25} *m*$^{-3}$. **44.** 10^{-21} *J*. **45.** 7,2 · 10^{25}. **46.** 1,9 *km/s*; 6,2 · 10^{-21} *J*. **47.** 6 ·10^6 marta. **48.** 200 *m/s*.**49.** 5,6·10^{-23} *N*ᵡ *s*. **50.** 3,3 · 10^{-23} *N*ᵡ *s*. **51.** 2 ·10^{-23} *kg* · *m/s*. **52.** 500 *m/s*. **53.** 2,65. **54.** 5 ·10^5 *m/s*. **55.** 4,2 ·10^{18} *sm*$^{-3}$. **56.** 5 ·10^3 *N*ᵡ *m*^{2}. **57.** 1,44 · 10^7 marta. **58.** 6,3 · 10^{-24} *kg* · *m/s*. **59.** 230 *m/s*; 1,9 · 10^{23}; 5,0 *kg/m*^{3}. **60.** 0,74 *kg/m*^{3}. **61.** 1900 *m/s*. **62.** 1,88·10^{22}. **63.** W = 3,7·10^3 *J*; W_{ilg} = 8,3 ·10^4 *J*; W_{ayl} q1,5·10^3 *J* . **64.** 20,1 *kK*. **65.** 1,6 *kK*. **66.** 2 *mkm/s*. **67.** Geliy; 2,73 *km/s* va 2,48·10^{-20} *J*; argon; 864 *m/s* va 2,48 ·10^{-20}*J*. **68.** 352 *mkm/s*. **69.** 1,37 ·10^7 marta. **70.** 0,92 *km/s*. **71.** 8 ·10^{16}. **72.** 4,2 · 10^{19}. **73.** a) $c_2^2 - c_1^2 = v^2$; $c_2^2 - c_1^2 = 0{,}6v^2$. **74.** a) 562 *m/s*; b) 25 *m/s*. **75.** -203^0 S. **76.** 169 *sm/s*. **77.** 1,26 · 10^{-3} *erg*. **78.** 3,5 *m/s*. **79.** 153^0 S. **80.** 2,1 marta kamayadi. **81.** 273^0 S. **82.** -45^0 S. **83.** 1964 *l*. **84.** 200 *kg*. **85.** 1,5·10^7 *Pa*. **86.** 6,4 *kg*. **87.** 2 *m*³. **88.** 12,3 *sm*. **89.** 39º S. **90.** 5 *kg*. **91.** 7º S. **92.** 127ºS. **93.** 364^0 K. **94.** 3,1 ·10^{-2} *m*^{3}. **95.** 7,5 *kg*. **96.** 1200 *kg*. **97.** 1,1 marta. **99.** 0,4 *kmol*. **100.** R_1q1,08 ·10^5 *N/m*^{2} ; R_2q1,16 ·10^5 *N/m*^{2}. **101.** 375 *mm.sim.ust*. **102.** 19 *atm*. **103.** 164,2 *min*. **104.** 0,98 *litr*. **105**. 6·10^{27} ta, 10^{17} *min*. **106.** 72 *kg/sm*^{2}. **107.** 150 *sm*^{3}. **108.** 637. **109.** 1320 *g*. **110.** 1,48 *g*. **111.** 9,5 *l*. **112.** 390 *MJ*. **113.** 100 *kPa*. **114.** 4 *mol*. **115.** 2,4 ·10^4. **116.** 1,7. **117.** 1,15 *kg/m*^{3}. **118.** $\sigma_{metan} = 0{,}5\ \sigma_{kislorod.}$ **119.** 17,4 *g*. **120.** a) Xajm katta bo'lganda grafikning og'malik burchagi kichik; b) massa katta bo'lganda katta. **121.** $F = \frac{1}{n}PS = 32{,}3$ *кН* . **122.** 47,2 *kPa*. **123.** 350 K. **124.** 0,212 *kg*. **125.** 1,16 *MPa*. **126.** 2,56 ·10^{-2} *kg/m*^{3}. **127.** 8,3 *g*. **128.** $P_1^{/}$q0,76 *MPa*; $P_2^{/}$q1,12 *MPa*; Rq $P_1^{/} + P_2^{/}$q1,88 *MPa*. **129.** 0,481 *kg/m*^{3}. **130.** μ = 28·10^{-3} *kg/mol*, demak gaz azot ekan. **131.** m = 6,87 *g*; m_1 = 4,81 *g*; m_2 = 2,06 *g*. **132.** 259 K. **133.** n = 0,788 *mol*; ν_1 = 67,5 m*mol*; ν_2 = 0,720 *mol*. **134.** 4 *kg*/k*mol*. **135.** 1400^0 K gacha. **136.** V_1= 2,4·10^{-3} *m*^{3}; T_2 = 1170^0 K; ρ_1 = 4,14 *kg/m*^{3}; ρ_2 = 1*kg/m*^{3}. **137.** 6,4 · 10^5 *N/m*^{2}. **138.** 4,15· ·10^5 *N/m*^{2}. **139.** 4,6 *kg*/k*mol*; 11,7 ·10^{-3} *m*^{3}. **140.** 2,5 · 10^{-3} *kg*. **141.** 0,12. **142.** 1,25. **143.** ρ = 1,2 *kg/m*^{3}; P_1= 0,236 · 10^5 *N/m*^{2}; P_2 = 0,764 · 10^5 *N/m*^{2}. **144.** 1,98 *kg/m*^{3}. **145.** $\frac{1}{m} = \frac{M_1}{M}\frac{1}{m_1} + \frac{M_2}{M}\frac{1}{m_2} + \frac{M_3}{M}\frac{1}{m_3} + ...$. **146.** $r = \frac{760(M - m)}{V(H - h)}$. **147.** ≈105 *g*. **148.** $\frac{Ln(P_2/P_1)}{Ln[V/(V+u)]}$. **149.** $\Delta l = \frac{1}{2}\left[H + l + l^{|} - \sqrt{(H + l + l^{|})^2 - 4l^{|}H}\right]$. **150.** $\frac{H + l - \sqrt{H^2 + l^2}}{2}$. **151.** 1,15 *g*. **152.** 14 *mm.suv.ust*. **153.** ≈ 370 *s*. **154.** 210 *J* . **155.** 8,3 · 10^4 *J* . **156.** 750 *J* . **157.** 2,5·10^{-3} *kg*. **158.** 20000 K; 900 K . **159.** 5·10^4 *J* . **160.** N = 1,3·10^{10}; W = 0,133 *J*. **161.** 400 *kJ* . **162.** 830 *J* . **163.** 210 *kJ* . **164.** $\frac{C_r M}{R}$. **165.** 0,032 *kg/mol*; 650 *J*/(*kg* · K), 910 *J*/(*kg* · K). **166.** 715 *J*/(*kg* · K); 1,01 k*J*/(*kg* ·

K). **167.** 981 *J*/(*kg* · K). **168.** 526 *J*/(*kg* · K). **169.** 417 *J*/(*kg* · K). **170.** 204 *J*/(*kg* · K). **171.** 1,51; 11,51. **172.** 1,50. **173.** 1,42. **174.** 1,50. **175.** 1,4. **176.** 2 *kg*/k*mol*. **177.** 5.70. C_v =650 *J*/*kg* · *grad*, C_ρ =910 *J*/*kg* · *grad*. **178.** C_v =693 *J*/*kg* ˣ *grad*, C_ρ =970 *J*/*kg* · *grad*. **179.** 1,25; 1,31. **180.** 0,36. **181.** C_v =90 *J*/*kg* · *grad*, C_ρ =139 *J*/*kg* · *grad*. **182.** 21 %. **183.** 685 90 *J*/*kg* · *grad*. **184.** 1,59. **185.** 60 *kg*. **186.** 1,47. **187.** 1400 *kal*. **188.** 22^0 S. **189.** 11,6 *kJ*/(*kg* · K). **190.** 1,52. **191.** 0,517. **192.** O'zgarmas bosimda. **193.** $\Delta\sigma$=7,9 · 10^3 *J*; W_1=1,8 · 10^3 *J*; W_2=76 · 10^3 *J* . **194.** 4,15 · 10^3 *J*. **195.** 700 *J*; 500 *J* . **196.** 1500 K; 12,4· 10^{-3} m^3; 12,4 *J*. **197.** ≈ 5 *kal/mol* ˣ *grad*. **198.** 10^4 *J*. **199.** 208 *J*. **200.** 2500 K; 16,3 *kJ* . **201.** i = 6. **202.** 6,25 *kJ*; $4T_1$; $4R_1$. **203.** 102 *J*; 1,57 · 10^3 *m/s*; 1,33 · 10^5 N/m^2; 0,164 kg/m^3; 4 · 10^2 *J*. **204.** 155 *J* . **205.** Natija $U=C_vPV/R$ formuladan kelib chiqadi. **206.** 0. **207.** -0,163 *kal*/ ^{0}S. **208.** S_r-R/2 . **209.** 7,6 · 10^4 *J*. **210.** 15,5 *kJ*. **211.** 1,25 *kJ*. **212.** 510 *mm. sim.ust*. **213.** 2,3 *km*. **214.** 5.108. P_1=0,354 *atm*, P_2=0,713 *atm* Δp=0,36 *atm*. **215.** 1,7 marta. **216.** 12,8 *N* ; 7,8 *N*. **217.** 5,88 *km*. **218.** 885 *m*. **219.** 8,75*m;* 25,8 *m*. **220.** 6,5 *m*. **221.** 6,5·10^{23} . **222.ye**$^{23.6}$ marta. **223.** 1,65. **224.** 5,97·10^{23} mol^{-1}. **225.** 4,14·10^{-21} *N*. **226.** 1,18 *Pa*. **227.** 5,5 *km*; 8 *km*. **228.** $n = n_o e^{mw^2r^2/(rhT)}$. **229.** 5.91. **230.** 518 *m/s*; 459 *m/s* . **231.** 0. **232.** 579 *m/s*; 628 *m/s*; 513 *m/s*. **233.** 83 K. **234.** 0,4%. **235.** 2,8%. **236.** 4,5%. **237.** 1,1. **238.** 1) 487 *m/s* va 3,4%; 2) 731 *m/s* va 2,2%. **239.** 70%. **240.** $v_B = \sqrt{2hT/m}$. **241.** $f(u)du = \frac{u}{\sqrt{p}} l^{-u^2} u^2 du$.

242. 4,39 ·10^{-3}. **243.** 6,63 ·10^{-3}. **244.** $w = \frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{3}\left(\frac{2}{n}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{m}{kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^3$. **246.** 1,75·$10^{16}$ sm^{-3}; 1,01·10^{17} sm^{-3}. **247.** 55^0S. **248.** 57 %; 43 %. **249.** 1,9·10^{22}. **250.** ωq7,52>10^{-7}. **251.** $v_{kb} = \sqrt{<v^2>} = \sqrt{3kT/m}$. **252.** 6.0·10^9. **253.** 1.8·10^{22}. **254.** 7730 K; 9600 K. **255.** 15700 K. **256.** $P_в = \sqrt{2mR} \cdot T$. **257.** 0. **258.** $<P_x> = \sqrt{mkT/(2p)}$. **259.** $P = \sqrt{mkT}$. **260.** $\bar{e}_0 = \frac{3}{2}kT$. **261.** 9,3·10^{-3}. **262.** 7,53·10^{-4}. **263.** 2,67·10^{-4}. **264.** 0,98. **265.** $\bar{v}_x^2 = \frac{kT}{m}; \frac{m\bar{v}_x^2}{2} = \frac{kT}{2}$.

266. 342 *m/s*. **268.** $\bar{v} = p^{1/5}$. **269.** 6,4 *sm*. **270.** 3,5 *mPa*. **271.** 1,55 *nm*. **272.** Mumkin, chunki erkin yugurish yo'li (97 m) kolbaning diametridan ko'p marta katta. **273.** 0^0 dan 180^0 gacha bo'lishi mumkin. **274.** 4,6·10^{-2} *mm. sim.ust*. **275.** 6·10^{-3} *mm sim.ust*. **276.** 9,3·10^{-8} s.

277. 4,9·10^5 s^{-1}. **278.** 3·10^{31}. **279.** 2,3 marta. **280.** $\frac{m}{\sqrt{2}pd^3N_0 r} 1{,}8 \cdot 10^{-6}$ м . **281.** 4,5·10^7 s^{-1} .

282. 1,57·10^{21}. **283.** 3,38·10^{18}. **284.** 1) $\bar{z} \approx \sqrt{p}$; 2) $\bar{z} \sim p$. **285.** 9,6·10^9 s^{-1}. **286.** 3,5·10^{-10} *m*. **287.** 1,6·10^{-7} s. **288.** 1,6·10^{-9} kg/m^3; 3,3·10^{10} sm^{-3}; 76,0 *m*. **289.** n≤·10^{13} sm^{-3} . **290.** 1) 7·10^{-3} *mm sim.ust*.; 2)7·10^{-4} *mm sim.ust*.; 3) 7·10^{-5} *mm sim.ust*. **291.** R≤3·10^{-3} *mm sim. ust*. **292.** ρ≤9,4·10^{-7} kg/m^3. **293.** 9,2·10^7 s^{-1}. **294.** 7·10^{28}. **295.** 6·10^{-6} *sm*; 12,5·10^{-6}; 9,4·10^{-7} *sm*. **296.** $z = ns\bar{v}; l = 1/(ns)$. **297.** 2,5·10^{-8} *sm*. **298.** ~6·10^{28} $s^{-1} \cdot sm^{-3}$. **299.** z~$T^{-1/2}$, λ~T. **300.** z~P, λ~P^{-1}.

301. $z \approx p^{(g+1)/(2g)}, l \approx p^{-1/g}; g = C_p/C_v$ **302.** 0.91·10^{-4} m^2/c. **303.** 8,4·10^{-5} m^2/s. **304.** 2·10^{-6} *kg*. **305.** 1,84·10^{-7} *m*. **306.** 1,78·10^{-5} *N*ˣ*s*/m^2. **307.** 1,48·10^{-5} m^2/s 1,85·10^{-5} *kg/m·s*. **308.** 1,8·10^{25} m^{-3}. **309.** 135 *nm*. **310.** 1) 90·10^{-5} m^2/s; 2) 0,061 m^2/s. **311.** 7,1. **312.** ηq19,1 · 10^{-6} *Pa* ˣ *s*; *v* = 424,9 *m/s*. **313.** A = 9,66 · 10^{-8} *m*. **314.** -η = 18 *mkPa* ˣ *s*. **315.** 1) $h = \sqrt{T}$. **316.** 6·10^{-6} *sm*. **317.** 1) 1,6 kg/m^3; 2) 8,35·10^{-8} *m*; 3) 440 *m/s*. **318.** 2,72 *m/s*. **319.** 0,045 *N*. **320.** 1,8·10^5 $N·s/m^2$. **321.** 1) 16,8 *N*; 2) 3,17·10^{-4} *nm*. **322.** M=π^2ηnR^4 (d=0,58 *Nm*). **323.** 11,3·10^{-3} *kkal/m·soat·grad*. **324.** 2·10^{-5} *m/s*. **325.** 1,26 N/m^2 = 0,036 *mm.sim.ust*. **326.** 5,7 *kkal*. **327.** 78 *J*. **328.** 166 *J*. **329.** 400 *J*. **330.** 6,62 *kJ*. **331.** 454 K. **332.** 1890 *kal*; 1350 *kal*; 540 *kal*. **333.** 8,1·10^3 *J*; 20,2·10^3 *J*; 28,3·10^3 *J*. **334.** 1000 *J*. **335.** 2500 *kJ*; 830 *kJ*; 3330 *kJ*. **336.** 550 *J*. **337.** 57^0. **338.** 3,32·10^6 *J*; 2,49·10^6 8,31·10^5 *J*.

339. 720 *J*. **340.** 2,72 marta. **341.** 5000 *m/s*. **342.** $2{,}2\cdot10^5$ *J*. **343.** 207^0 K. **344.** 416 *J*. **345.** 754 K; 674 *J*. **346.** 1,81 *kJ*. **347.** 865^0 K. **348.** 5. **349.** 123^0 S; $52{,}8\cdot10^5$ N/m^2. **350.** 1,4. **351.** 1,4. **352.** -2,69 $\cdot10^8$ *J* 2) $2{,}69\cdot10^6$ *J*. **353.** 2,37 *J*. **354.** a) 2,5 *l·at*; -6,5 *l·at*; -9 *l·at*; b) 2,5 *l·at*; 0,5 *l·at*; -3 *l·at*. **355.** 0,8; 1,5. **356.** 5*MJ*; 0; 5 *MJ*. **357.** 0,4 *MJ*; 160 *MJ*; 560 *MJ*. **358.** 3,25 *MJ*; 0,4 *MJ*; 3,65 *MJ*. **359.** 1) 0,6; 0,4; 2) 0,71; 0,29; 3) 0,75; 0,25. **360.** 0; 11,6 *kJ*; 11,6*kJ*. **361.** 20,8 *kJ*. **362.** $V_2/V_1 = e^{a/(VRT)} = 2.23$. **363.** 67,2 *g*. **364.** 157 K; -21 *kJ*. **365.** 1) $\Delta T=2M\Delta U/(imR)=616$ K; 2) $P_2=A_1(T_2-T_1)^{\gamma(\gamma-1)}=11.4$ *MPa*, bunda $T_1=T_2\Delta T$. **366.** 17,6. **367.** 1,15 marta. **368.** 1) 5 *atm*, 273 °K, -1140 *J;* 2) 9,5 *atm*, 520 °K, -1590 *J*. **369.** 1 atomli gaz 1,2 marta ko'proq isiydi. **370.** 1) 1,55 *kJ*; 0,92 *kJ*; 0,63 *kJ;* 2) 1,88 *kJ*; 1,25 *kJ*; 0,63 *kJ*. **371.** 630 *J*; 1880 *J*. **372.** 18 %. **373.** $RT\ln P_1/P_2$. **374.** 2,44 *kJ*. **375.** TV^{n-1} = const, PV^n = const, bunda $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$, 1) V=const; 2) P=const; 3) PV^γ =const; 4) V=const. **376.** 25 *J*. **377.** $2{,}27\cdot10^4$ *J*. **378.** 1,68. **379.** $C_p - C_v = R + V\left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_P - P\left(\frac{\partial C_p}{\partial P}\right)_V$. **380.** Ishchi jism aralashmasining. **381.** 23 %; 46 *kJ*; 14 kVt. **382.** 30 %; 400 K. **383.** 42 %; 24 %. **384.** 760 *Vt*. **385.** 400 *J*. **386.** 300 K; 500; 1 kK; 605 K; 8,55 K. **387.** 7,61 *MJ*; 7,21 *MJ*; 0,4 *MJ*; 5,3 %. **388.** 0,11. **389.** 26,8 %. **390.** 20 %; $1{,}26\cdot10^3$ *J*. **391.** 2,1 marta. **392.** 0,093; 360 *J*; 397 *kJ*. **393.** $h_1 = \frac{1}{1-h_3}, h_2 = \frac{1+h_3}{h_3}$; η_1= 1,09; η_2=11,0; η_3=0,083. **394.** 4,94 *kg*. **395.** 1,88. **396.** 0,404. **397.** 1/4. **398.** 14 %; 1,16 marta. **399.** 0,74 m^3. **400.** Sovutgichning temperaturasini pasaytirish samaraliroq. **401.** 15 *kJ*. **402.** 418 *J*. **403.** $h = (T_1 - T_2)\left(T_1 + \frac{c_p}{R}\frac{T_1 - T_2}{\ln(P_1/P_2)}\right)_P^{-1}$, buyerda $T_1 \rangle T_2$, $P_1 \rangle P_2$. **404.** 2,6 *J/grad*. **405.** -0,199 *J/grad*. **406.** 3450 kal/*grad*. **407.** a) $DS = mC\ln\frac{T}{T_1} + mC\ln\frac{T}{T_2} > 0;$ b) $DS = mC_v\ln\frac{p}{p_1} = mC_v\ln\frac{p}{p_2} > 0.$ **408.** 0,78 *kal/grad*. **409.** 0,43 *kal/grad*. **410.** 0,53 *kal/grad*. **411.** 88 *J/grad*. **412.** 63 *J/grad*. **413.** 5,4 *J/grad*. **414.** 71 *J/grad*. **415.** 66,3 *J/grad*. **416.** 38,1 *J/grad*. **417.** 17,3 *J/grad*. **418.** 2,9 *J/grad*. **419.** 1,76 *J/grad*; 2,46 *J/grad*. **420.** 323 K; 0,3 *kJ/K*. **421.** 7,2 *J/K*. **422.** 2,43 *J/K*. **423.** 291 *J/K*. **424.** 251 g; 610 *J/K*. **425.** 836 *J/K*. **426.** $\frac{m}{M}R$; (n=457). **427.** $8{,}5\cdot10^3$ *J/grad*; $11{,}8\cdot10^3$ *J/grad*. **428.** o'zgarmas bosimda. **429.** ≈ 600 *J/grad*. **430.** $\Delta S=k\ln W$. **431.** 1) 0; $R\ln(V_1/V_2)$; 2) $\Delta U = \frac{pV^g}{g-1}\left(\frac{1}{V_2^{g-1}} - \frac{1}{V_1^{g-1}}\right)$; 0. **432.** -625 *kal/mol*; ≈-4 *kal/(mol* ^{0}*S)*. **433.** $\Delta S = R\left(\frac{M_1}{m_1} + \frac{M_2}{m_2}\right)\ln 2$. **434.** 0,16 *kal/*^{0}*S*. **435.** $\Delta U = U - U_0 = \frac{M}{m}C_V T_0\left(2^{g-1}\right)$; $\Delta S = S - S_0 = \frac{M}{m}C_V(g-1)\ln 2$. **436.** 63 *kal/*^{0}*S*. **437.** 24,2 *at*; 23,3 *at*; 25,4 *at*; 24,1 *at*. **438.** 25,6 *at*; 29,5 *at*. **439.** 21^0S; 0^0S. **440.** vq0,04 *l/mol*; aq 1,33 l^2 *at/mol*^{2}. **441.** 108 *kPA*; 86,2 sm^2. **442.** 4,78 *MPa* (4,99 *MPa*). **443.** 8,31 *MPa*; 5,67 *MPa*. **444.** 0.0264; 0,272. **445.** 544 *MPa*. **446.** 287 K. **447.** 174 *kPA*; 3,94 *MPa*; 101 *MPa*. **448.** vq[m^3*kmol*]; aq[N m^2 /*kmol*]. **449.** 280 K; 280 K. **450.** 281 K; 289 K. **451.** 482 K; 204 K. **452.** 1) $3{,}09\cdot10^6$ N/m^2; $6{,}18\cdot10^7$ N/M^2 ; 2) $2{,}87\cdot10^6$ N/m^2; $2{,}73\cdot10^8$ N/m^2. **453.** 1,85. **454.** 0,231 m^3. **455.** 0,49 m^3.

456. $2{,}94\cdot10^{-10}$ *m*. **457.** $1{,}31\cdot10^{3}$ *N/m*^{2}. **458.** $P\left(V-\frac{M}{m}b\right)=\frac{M}{m}RT$; 33%. **459.** 4,95 %; 0,86 %. **460.** 0,2 *g/sm*^{3}. **461.** ≈53 *at*; 157 K. **463.** 0,136; 3,86. **464.** 1) 150K, 5 *MPa*; 2) 654 K, 22,6*MPa*. **465.** 96,8 *sm*^{3}*/mol*. **466.** 0,264. **467.** 193 marta. **468.** 1,45 *sm*^{3}. **469.** 600 K. **470.** $1{,}36\cdot10^{5}$ *N*×*m*^{4}*/kmol*^{2}. **471.** 1) 73 *atm*; suyultirib bo'lmaydi; 2) $2{,}9\cdot10^{-3}$ *m*^{3}; 3) 73 *atm*. **472.** 57 *kg/m*^{3}. **473.** $2{,}7\cdot10^{6}$ *N/m*^{2}. **474.** 2,45. **475.** 2,61 *kJ*; 2,55 *kJ*; 1,94 *kJ*; 1,45 *kJ* . **476.** 22,4 *kJ*; 9,2 *kJ*. **477.** 1,13 *kJ*. **478.** 104 *J*. **479.** 1,65 *J*. **480.** -20,9 K. **481.** mumkin; mumkin emas. **482.** o'zgarmaydi. **483.** 19% ortadi. **484.** 2 *g*. **485.** 284 K gacha izoxor. sovutish; 23,3 *l* gacha izoter. siqish; mos ravishda temperaturani pasaytirib hajmni kamaytirish. **486.** 12 marta. **487.** 225 *mN*. **488.** $6{,}9\cdot10^{-3}$ *kg*. **489.** 7^0 S. **490.** 60,4 %; $86\cdot10^{-6}$ *kg*. **491.** $1{,}29\cdot10^{4}$ *kg/m*^{3}. **492.** 0,884 *kg*. **493.** $7\cdot10^{-4}$ *grad*$^{-1}$. **494.** 63,5 $\cdot10^{-3}$ *N*; 37%. **495.** $32{,}4\cdot10^{-3}$ *N/m*. **496.** 1,2 *mm*; 5 *sm*. **497.** 13 *min*. **498.** $62{,}3\cdot10^{-3}$ *N/m*. **499.** $2{,}2\cdot10^{-3}$ *m*. **500.** $1{,}65\cdot10^{-4}$ *grad*. **501.** $1{,}47\cdot10^{-5}$ *J* . **502.** $6{,}4\cdot10^{-5}$ *J* . **503.** 3 *mJ* . **504.** 3,2 k*N/m*^{3}. **505.** 62,5 *Pa*. **506.** 7. **507.** 62 *mN/m*. **508.** -399 *Pa*. **509.** 22 *mN/m*. **510.** $h=\frac{6\cdot d\cdot s-4r^3r\cdot g}{3d\cdot r\cdot g}$. **511.** 7,3 *sm* . **512.** 699 *mm. sim. ust*. **513.** 4,9 *mm*. **514.** 4,4 marta. **515.** 0,53 *mm*; 2,98 *sm*. **516.** 7,5 *mm*. **517.** 0,07 *N/m*. **518.** 0,4 %; 0,2%. **519.** 0,5 *mm*. **520.** 1,22 *kg*. **521.** 790 *kg/m*^{3}. **522.** ≈ 70 *dina/sm*. **523.** Kapillyar osilgan tarozi shayni pastga tushadi. **524.** $U=(s-Td\,s\,/dT)F$. **525.** -0,02 K. **526.** 196 *N/sm*^{2}. **527.** 400 *dina/sm*^{2} ≈ 0,29 *mm. sim. ust*. **528.** $5{,}23\cdot10^{-3}$ *sm*. **529.** ≈ 80 *dina/sm*. **530.** $h_1-h_2=\frac{4s\,(d_2-d_1)}{r\cdot gd_1d_2}$. **531.** ≈24,2 *mm*. **532.** $h=\frac{2s\cdot l}{r\left(P+r\cdot gl+\frac{2s}{r}\right)}$. **533.** 3 *sm*. **534.** $h\approx\frac{2s\cos q}{rga}\cdot\frac{1}{x}$. **535.** $1{,}46\cdot10^{4}$ *N*. **536.** 3,5 *dina*. **537.** Ingichka naydagi havo bosimi keng naydagidan 3,5 *mm. sim. ust*. qadar katta bo'lganda suv sathi bir xil bo'ladi. **538.** 5,7 *sm*. **539.** 2,8 *sm*. **540.** 17,8 *sm*; 20 *sm*. **541.** 12 *at*. **542.** 2,3 *at*. **543.** 0,26 *g*. **544.** 40^0 S. **545.** 1000 ta. **546.** $2{,}9\cdot10^{5}$ *N/m*^{2}. **547.** 55%; $4\cdot10^{19}$ *sm*$^{-3}$. **548.** 92,1 *mm. sim. ust*. **549.** 147,6 *mm. sim. ust*. **550.** 50 ta. **551.** 92 *kg/kmol*. **552.** 1;2;4;2;1;2. **553.** $1{,}44\cdot10^{-28}$; $2{,}1\cdot10^{28}$; $4{,}54\cdot10^{28}$. **554.** $1{,}46\cdot10^{3}$ *kg/m*^{3}. **555.** $2{,}6\cdot10^{3}$ *kg/m*^{3}. **556.** 69,5. **557.** 1) 0,404 *nm*; 0,286 *nm*; 2) 0,316 *nm*; 0,274 *nm*. **558.** 0,320 *nm*; 0,521 *nm*. **559.** [[121]]; [[112]]. **560.** 390 *J/Kg·grad*; 450 *J/Kg·grad*; 930 *J/Kg·grad*. **561.** 107 *kg/kg·atom* – kumush. **562.** 7,2 marta. **563.** 66^0 ga. **564.** 825 *J*/(*kg* K); 675 *J*/(*kg* K). **565.** 1,12 *MJ/K*. **566.** 1,70 *kJ*. **567.** 124 *kJ*. **568.** 3,44 *GGs*. **569.** 36 *kJ/mol*. **570.** 340 J/*mol*. **571.** 8,8 %. **572.** 2,87 *MJ/mol*. **573.** 2,99 *MJ* . **574.** $2{,}36\cdot10^{-3}$ m^{-1}. **575.** $5{,}2\cdot10^{3}$. **576.** 4,83%. **577.** $t=\frac{me}{aS}\ln\frac{t_1-t_3}{t_2-t_3}$. **578.** 1,2 *sm*; ≈10 *sm*. **579.** $34{,}5^0$S. **580.** 1,28 *vt/m*×*grad*. **581.** $1{,}9\cdot10^{5}$ *J* . **582.** 2 *kal/s*; 60 *g*. **583.** 11,7 *J* . **584.** $106^{\,0}$ S. **585.** 28,4 so*at* o'tgach. **586.** $7{,}1\cdot10^{4}$ *N*. **587.** 1360 *kkal*q$5{,}69\cdot10^{6}$ *J* . **588.** 0,285 *kal/sm*×*s*×*grad*. **589.** Yuqori devordagi temperatura gradienti kichik. **590.** 200000 *kkal*. **591.** 1030 *kal*. **592.** 149 *N*. **593.** 20^0 S da. **594.** $1{,}8\cdot10^{-5}$ *grad*$^{-1}$. **595.** 11*sm*; 16 *sm*. **596.** 1,02 marta.

Ilovalar.

3. Asosiy fizik kattaliklar

Fizik kattaliklar	Son qiymati
Tortishish kuchi doimiysi γ	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ $m^3/kg \times s^2$
1 *kmol* dagi molekulalar soni (Avagadro soni) N_0	$6{,}025 \cdot 10^{26}$ $kmol^{-1}$
Normal sharoitlarda 1 *kmol* ideal gazning hajmi V_0	22,4 m^3
Universal gaz doimiysi R	$8{,}31 \cdot 10^3$ $J/kmol \times K$
Bolsman doimiysi k	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K
Faradey soni F	$9{,}65 \cdot 10^7$ k/kg -ekv
Stefan – Bolsman doimiysi σ	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$ $Vt/m^2 \times K^2$
Plank doimiysi h	$6{,}625 \cdot 10^{-34}$ $J \times s$
Elektron zaryadi e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ K
Elektronning tinch holatdagi massasi t_e	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg = $5{,}49 \cdot 10^{-4}$ m. a. b. (massa atom birligi)
Protonning tinch holatdagi massasi m_p	$1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kg q1,00759 m. a. b.
Neytronning tinch holatdagi massasi t_n	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg q1, 00899 m. a. b.
Yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi	$3{,}00 \cdot 10^8$ m/s

2. Moddalarning zichligi

(g/sm^3 yoki 10^3 kN/m^3)

Qattiq jismlar

($15-20^0$S temperaturada)

Olmos	3,5	Nikel	8.9
Alyuminiy	2,7	Qalayi	7,8
Beton	2,2	Parafin	0,90
Volfram	19,3	Platina	21,5
Germaniy	5,4	Pleksiglas (org. shisha)	1,2
Grafit	2,6	Polietilen	0,90
Quruq yog'och:		Penoplast	0,02—0,10
qayin	0,70	Po'kak	0,20
dub	0,80	Qo'rg'oshin	11,3
qarag'ay	0,50	Kumush	10,5
Temir	7,9	Po'lat	7,8
Oltin	19,3	Shisha (butilka qilinadigani)	2,7
Iridiy	22,4	Shisha (deraza oynasi)	2,5
G'isht	1,8	Tekstolit	1,4
Kremniy	2,3	Uran – 235	18,0
Jez	8,5	Chinni	2,3
Muz (0°S)	0,90	Rux	7,1
Mis	8,9	Cho'yan	7,0 – 7.8
Bo'r	2,4	Ebonit	1,2
Marmar	2,7		
Nikelin	8,5		

Suyuqliklar
(15—20°S temperaturada)

Suyuq azot (−196°S)	0,79	Sut	1,03
Benzin	0,70	Neft	0,80
Suv (4^0S)	1,00	Mis kuporos eritmasi (to'yingan)	1,15
Dengiz suvi	1,03	Simob (0°S)	13,60
Suyuq havo (−94^0 S)	0,86	Sulfat kislota	1,84
Gliserin	1,26	Skipidar	0,87
Kerosin	0,80	Spirt	0,80
Suyuq kislorod (−128^0S)	1,14	Efir	0,71
Mazut	0,90		
Moy (yoqiladigan moy)	0,90		

Gazlar
(0^0S va 760 *mm sim. ust.* bosimda)

Azot	0,00125	Metan	0,00071
Ammiak	0,00077	Neon	0,00090
Asetilen	0,00117	Azon	0,00214
Vodorod	0,000090	Uglerod (I)−oksidi	0,00125
Havo	0,00129	Karbonat angidrid	0,001ˆ
Gelny	0,00018	Xlor	0,00321
Kislorod	0,00143		

3. Atomlar va molekulalarning diametrlari

Geliy (Ne)	$2 \cdot 10^{-10}$ m
Vodorod (N_2)	$2,3 \cdot 10^{-10}$ m
Kislorod (O_2)	$3 \cdot 10^{-10}$ m
Azot (N_2)	$3 \cdot 10^{-10}$ m

4. T_k va p_k kritik qiymatlar

Modda	T_k, K	p_k , atm	$p_k \cdot 10^{-6}$, N/m^2
Suv bug'i	647	217	22,0
Karbonat angidrid …….....	304	73	7,4
Kislorod …….....	154	50	5,07
Argon …….....….	151	48	4,87
Azot …….....……	126	33,6	3,4
Vodorod …….....…	33	12,8	1,3

Geliy ……..... .	5,2	2,25
0,23		

5. To'yingan suv bug'ining bosimi (*mm.sim.ust.*) va uning zichligi (*g/sm³ yoki 10⁻³ kg/m³*)

Temperatura, ^0S	Bosim	Zichlik	Temperatura, ^0S	Bosim	Zichlik
−10	1,95	2,14	11	9,8	10,0
−9	2,13	2,33	12	10,5	10,7
−8	2,32	2,54	13	11,5	11,4
−7	2,53	2,76	14	12,0	12,1
−6	2,76	2,99	15	12,8	12,8
−5	3,01	3,24	16	13,6	13,6
−4	3.28	3,51	17	14,6	14,5
−3	3,57	3,81	18	15,3	15,4
−2	3,88	4,13	19	16,5	16,3
−1	4,22	4,47	20	17,5	17,3
0	4,58	4,84	21	18,7	18,3
1	4,9	5,2	22	19,8	19,4
2	5,3	5,6	23	21,1	20,6
3	5,7	6,0	24	22,4	21,8
4	6.1	6,4	25	23,8	23,0
5	6,6	6,8	26	25,2	24,4
6	7,0	7,3	27	26,7	25,8
7	7,5	7,8	28	28,4	27,2
8	8,0	8,3	29	30,0	28,7
9	8,6	8,8	30	31,8	30,3
10	9,2	9,4	100	760	600
			200	11628	

6. Ba'zi bir suyuqliklarning xossalari

Suyuqlik	Zichlik, *kg/m³*	20^0S dagi solishtirma issiqlik sig'imi		20^0S dagi sirt taranglik koeffisienti, *N/m*
		J/kg× K	*kal/g× K*	
Benzol ……...	880	1720	0,41	0,03
Suv ……	1000	4190	1,0	0,073
Gliserin …….	1200	2430	0,58	0,064
Kanakunjut moyi …….	900	1800	0,43	0,035
Kerosin ……	800	2140	0,051	0,03
Simob ……...	13600	138	0,033	0,5
Spirt ……	790	2510	0,6	0,02

7. Turli temperaturalarda suvning solishtirma bug'lanish issiqligi

^0S	10^5 *J/kg*	*Kkal/kg*	^0S	10^5 *J/kg*	*Kkal/kg*
0	24,8	595	150	21,1	506
20	24,3	584	200	19,5	468
50	23,7	568	250	17,0	408
70	23,2	557	300	14,0	330
100	22,6	539	350	8,80	210
			374	0	0

8. Ba'zi bir qattiq jismlarning xossalari

Modda	Zichlik, kg/m^3	Erish temperatu – rasi, ^0S	Solishtirma issiqlik sig'imi		Erish solishtirma issiqligi, J/kg	Chiziqli issiqlik kengayish koeffisienti, K^{-1}
			$J/kg \times grad$	$kal/g \times K$		
Alyuminiy	2600	659	896	0,214	$3,22 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Temir	7900	1530	500	0,119	$2,72 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Jez	8400	900	386	0,092	-	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Muz	900	0	2100	0,5	$3,35 \cdot 10^5$	-
Mis	8600	1100	395	0,094	$1,76 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Qalayi	7200	232	230	0,055	$5,86 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Platina .	21400	1770	117	0,028	$1,13 \cdot 10^5$	$0,89 \cdot 10^{-5}$
Po'kak	200	-	2050	0,49	-	-
Qo'rg'oshin	11300	327	126	0,030	$2,26 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Kumush	10500	960	234	0,056	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Po'lat	7700	1300	460	0,11	-	$1,06 \cdot 10^{-5}$
Rux	7000	420	391	0,093	$1,17 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$

9. Bazi bir qattiq jismlarning elastiklik xossalari

Modda	Mustaxkamlik chegarasi	Yung moduli
	N/m^2	N/m^2
Alyuminiy	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Temir	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Mis	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Qo'rg'oshin	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Kumush	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Po'lat	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

10. Bazi bir qattiq jismlarning l isssiqlik o'tkazuvchanligi ($Vt/m \times K$)

Alyuminiy	210
Namat	0,046
Temir	58,7
Eritilgan kvars.....	1,37
Mis	390
quruq qum.....	0,325
Po'kak.....	0,050
Kumush.....	460
Ebonit	0,174

11. Psixrometrik jadval

Quruq termometrning ko'rsatishi, ^0S	quruq va xo'l termometrlar ko'rsatishining ayirmasi (graduslarda)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Nisbiy namlik (%% larda)											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	56	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	38	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34
31	-	93	86	79	72	66	60	54	48	43	37	32
32	-	93	86	79	73	66	60	55	49	44	39	33
33	-	93	86	80	73	67	61	55	50	45	40	35
34	-	93	86	80	73	67	62	56	51	46	41	36
35	-	-	87	80	74	68	62	57	52	47	42	37
36	-	-	87	80	75	68	63	58	53	48	43	38
37	-	-	87	81	75	69	61	58	53	48	44	39
38	-	-	87	81	75	70	64	59	54	49	45	40
39	-	-	87	81	76	70	65	60	55	50	45	41
40	-	-	-	82	76	71	65	60	56	51	46	42

Adabiyotlar.

5. Chertov A., Vorobev A. Fizikadan masalalar to'plami. Toshkent: «O'zbekiston», 1977 y.
6. Saxarov D.I. Fizika masalalari to'plami. Toshkent, «O'qituvchi», 1965 y.
7. Volkenshteyn B.S. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Toshkent: «O'qituvchi», 1969 y.
8. Ginzburg B.L., Levin L.M., Sivuxin D. B., Yakovlev I.A. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. Termodinamika va molekulyar fizika. Toshkent: «O'qituvchi», 1985 y.

Mundarija

Masala yechishda talabaga qo'yiladigan talablar. 3
1. Modda miqdori. Molekulalarning konsentrasiyasi, massalari va o'lchamlari..... 4
2. Molekulyar—kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi. Molekulalarning issiqlik harakat energiyasi va tez—liklari..... 10
3. Ideal gaz qonunlari. Ideal gaz holat tenglamasi..... 17
4. Ideal gazlarning ichki energiyasi va issiqlik sig'imlari..... 27
5. Bolsman taqsimoti. Maksvell taqsimoti 34
6. Ko'chish hodisalari..... 43
7. Gaz kengayishida bajariladigan ish. Issiqlik mashinalari 53
8. Entropiya 64
9. Real gazlar va suyuqliklar 70
10. Qattiq jismlar 84
11. Javoblar 93
12. Ilovalar 97
13. Adabiyotlar 102
Mundarija 103