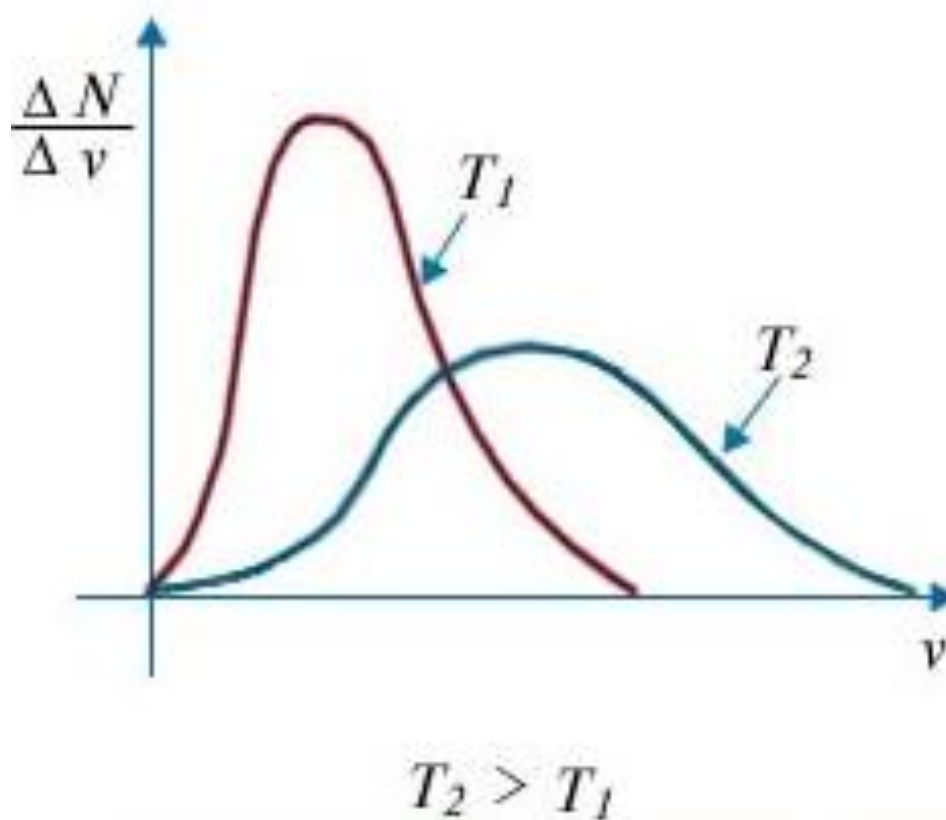


ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

ЗИЁВУДДИН НИЗОМОВ

# ФИЗИКАИ МОЛЕКУЛАВӢ



Душанбе- 2020

ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

*Китоб ба хотираи неки падарам Холов Низомиддин,  
модарам Ашӯрова Ҳикматой ва устодонам Алперович  
(Альперович) Лев Исаакович, Перелигин Игор (Перелыгин  
Игорь) Сергеевич  
ва Шокиров Ориф бахшида мешавад.*

ЗИЁВУДДИН НИЗОМОВ

# ***ФИЗИКАИ МОЛЕКУЛАВӢ***

Душанбе- 2020

УДК 53.

ББК 31,2 тоҷик Я 74

А 57

З. Низомов. Физикаи молекулавӣ. Китоби дарсӣ барои донишҷӯёни мактабҳои олий. - Душанбе: Сино, 2020. - 456 саҳифа. Ил. - 185, ҷадвал - 72, адабиёт - 52 номгӯй.

**Муқарризон:**

кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ (мудир номзади илмҳои педагогика, дотсент Умаров А.), кафедраи физикаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ (мудир номзади илмҳои физика ва математика, дотсент Ҳочахонов И.Т.); Абдуллоев Ҳабибулло Одинаевич – арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои физика ва математика, профессори кафедраи физикаи назариявии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Солеҳов Тағоймурод Ҳайитович- сарҳодими илмии Институти тадқиқотию илмии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои физика ва математика, профессор, Шерматов Дӯсназар Саидович – мудири кафедраи физикаи тиббӣ ва биологӣ бо асосҳои информатикаи Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино, доктори илмҳои физика ва математика, профессор.

Бо қарори № 11/8 –и Мушовараи вазорати маориф ва илми ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 июли соли 2016 чоп мешавад.

Китоб дар асоси курси лексияҳои солҳои тӯлонӣ дар факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон хондаи муаллиф ба донишҷӯёни ихтисоси физика, таълиф шудааст. Ба барномаи таълимии курсҳои физикаи умумӣ, ки 28-уми декабри соли 2009 Шӯрои методии ДМТ (суратмаҷлиси № 4) тасдиқ кардааст, мувофиқ ва ба нақшаи таълимӣ ва Стандарти давлатии таълимии таҳсилоти олии касбии Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки аз тарафи Вазорати маориф ва илми ҚТ 3 январи соли 2008 тасдиқ шудааст, ҷавобгӯ мебошад.

Ин китоб ба донишҷӯёни ихтисосҳои табиатшиносии донишгоҳҳо пешбинӣ шуда ва ба устодони мактабҳои олий ва миёнаи ҳамагонӣ низ муфид хоҳад буд.

© Низомов Зиёвуддин

© Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

## М У Н Д А Р И Ч А

Пешгуфтор .....	6
Муқадима .....	7

### БОБИ I. МЕТОДИ СТАТИСТИКӢ

1.1 Методҳои омӯхтани рафтори системаи зарраҳои зиёд .....	25
1.2 Ҳолатҳои агрегатии модда .....	28
1.3 Мафҳумҳои асосии назарияи эҳтимолият .....	30
1.4 Тақсимои Гаусс .....	34
1.5 Ҳолатҳои макроскопӣ ва микроскопии система .....	38
1.6 Модели гази идеалӣ .....	39
1.7 Эҳтимолияти макроҳолат .....	40
1.8 Флуктуатсия .....	43
1.9 Тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръаташон (тақсимои Максвелл) .....	45
1.10 Суръатҳои тавсифии тақсимои Максвелл .....	50
1.11 Тақсимои Максвелл барои суръатҳои нисбӣ .....	51
1.12 Санҷиши таҷрибавии тақсимои Максвелл .....	54
1.13 Тавсифоти кинематикии ҳаракати молекулаҳо. Теъдоди барҳӯрдҳо ва дарозии дави озоди молекулаҳо .....	56
1.14 Фишор. Андозагирии фишор .....	58
1.15 Муодилаи ҳолати гази идеалӣ. Қонунҳои таҷрибавии гази идеалӣ	60
1.16 Температура ва андозагирии он .....	64
1.17 Тақсимои Болсман .....	71
1.18 Атмосфераи сайёраҳо ва формулаи барометрӣ .....	74
1.19 Баробартақсимшавии энергия ба дараҷаҳои озод .....	79
1.20 Ҳаракати броунӣ .....	80
Намунаи ҳалли масъалаҳо .....	84
Супоришҳои инфродӣ .....	107

### БОБИ II. АСОСҲОИ ТЕРМОДИНАМИКА

2.1 Кор дар изопротсессҳо .....	113
2.2 Энергияи дохилӣ. Миқдори гармӣ .....	114
2.3 Қонуни якуми термодинамика .....	115
2.4 Протсессҳои мувозинаӣ, ғайримувозинаӣ, баргарданда ва бебозгашт .....	115
2.5 Гармигунҷоиш .....	116
2.6 Гармигунҷоиши гази идеалӣ ва санҷиши таҷрибавии он .....	118
2.7 Протсессҳои адиабатӣ .....	124
2.8 Протсессҳои политропӣ .....	126
2.9 Энтропияи гази идеалӣ .....	128
2.10 Протсессҳои термодинамикии даврӣ (сиклҳо) .....	131



2.11	Сикли Карно .....	133
2.12	Шкалаи термодинамикии мутлақи температура .....	136
2.13	Қонуни дуҷуми термодинамика .....	137
2.14	Ҳисоби тағйироти энтропия дар протсессҳои бебозгашт .....	141
2.15	Саҳми энтропия дар иҷрои кор .....	143
2.16	Потенциалҳои термодинамикӣ .....	144
2.17	Шарти асосии устувории термодинамикӣ .....	148
	Намунаи ҳалли масъалаҳо .....	150
	Супоришҳои инфродӣ .....	185

### БОБИ III. ГАЗҲОИ РЕАЛӢ ВА МОЕЪҲО

3.1	Ҳосиятҳои термодинамикии газҳои реалӣ.....	186
3.2	Қувваҳои таъсироти мутақобила дар молекула....	187
3.3	Гузариш аз ҳолати газӣ ба ҳолати моеъ. Изотермаҳои таҷрибавӣ. Нуқтаи критикӣ (буҳронӣ) .....	191
3.4	Муодилаи Клапейрон- Клаузиус .....	194
3.5	Муодилаи Ван-дер-Ваалс .....	197
3.6	Муодилаи вириалии ҳолат.....	202
3.7	Қонуни ҳолатҳои мувофиқ.....	206
3.8	Муодилаҳои ҳолати газҳои реалӣ .....	208
3.9	Эффекти Жоул-Томсон .....	211
3.10	Моеъгардонии газҳо.....	214
3.11	Ҳосиятҳои моеъҳо .....	216
3.12	Кашиши сатҳӣ . .....	220
3.13	Фишор дар зери сатҳи ҳамгаштаи моеъ .....	223
3.14	Шарти мувозинати байни ду муҳит. Кунҷи канорӣ .....	225
3.15	Ҳодисаҳои капиларӣ .....	229
3.16	Ҳосиятҳои физикавии об .....	231
3.17	Маҳлулҳо .....	234
3.18	Кристалҳои моеъ .....	240
	Намунаи ҳалли масъалаҳо .....	243

### БОБИ IV. ҚИСМҲОИ САХТ

4.1	Ҳолатҳои аморфӣ ва кристалии қисмҳои сахт .....	260
4.2	Мафҳумҳои асосии геометрияи панҷараи кристалӣ .....	262
4.3	Навъҳои физикавии панҷараи кристалӣ .....	268
4.4	Гармиғунҷоиши кристалҳо .....	280
4.5	Энергияи потенциалии ҳамтаъсирот дар кристалҳои ионӣ .....	288
4.6	Полимерҳо.....	291
4.7	Ҳосиятҳои механикӣ ва васеъшавии ҳароратии қисмҳои сахт.....	293
	Намунаи ҳалли масъалаҳо .....	296
	Кори мустақилонаи 2 аз практикуми физикавӣ .....	299

Кори мустақилонаи 3 аз практикуми физикавӣ .....	305
--	-----

## БОБИ V. КИНЕТИКАИ ФИЗИКӢ

5.1 Навъҳои ҳодисаҳои интиқол .....	309
5.2 Ҳодисаҳои интиқол дар газҳо .....	309
5.3 Вақти релаксатсия .....	315
5.4 Ҳодисаҳои физикавӣ дар газҳои тунук .....	317
5.5 Ҳодисаҳои интиқол дар ҷисмҳои сахт .....	320
5.6 Ҳодисаҳои интиқол дар моеъҳо .....	324
5.7 Худмураттабӣ дар системаҳои кушод. Синергетика .....	326
Намунаи ҳалли масъалаҳо .....	330
Супоришҳои инфродӣ .....	342
Кори мустақилонаи 4 аз практикуми физикавӣ .....	343
Масъалаҳо барои кори санҷишӣ .....	353
Супоришҳои тестӣ .....	371
Формулаҳои асосӣ аз физикаи молекулавӣ .....	431
Иловаҳо .....	435
Феҳрасти мафҳумҳои асосӣ .....	445
Китобнома .....	448

## Пешгуфтор

Рӯйдодхоеро, ки ба туфайли ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо ба амал меоянд, ҳодисаҳои ҳароратӣ меноманд. Донишҷӯи сохтори молекулавии ҳисмҳо ва ҳамтаъсири молекулаҳо барои шарҳи моҳияти ҳодисаҳои ҳароратӣ (аз арабии гармӣ, тафс) муҳим мебошад.

Предмети физикаи молекулавӣ омӯхтани навъҳои молекулавии ҳаракат, яъне ҳаракати маҷмӯи зиёди молекулаҳо мебошад. Физикаи молекулавӣ хосиятҳои ҳисмҳои макроскопӣ ва ҳодисаҳои физикавиро вобаста ба сохтори дохили (молекулавӣ) - и онҳо, қувваҳои ҳамтаъсири зарраҳои ҳисмро ташкилдиҳанда ва сифати ҳаракати ин зарраҳо, меомӯзад. Дар як вақт ду тарафи масъала муҳим ҳисоб мешавад:

- 1) омӯхтани хусусиятҳои навъҳои молекулавии ҳаракат худ ба худ ва
- 2) азхудкунии метод (усул)-ҳои омӯзиши системаҳои зарраҳои зиёд ва мафҳумҳои ба он мувофиқ.

Замоне ки физикаи молекулавӣ ҳамчун қисми физика дар таълим қорӣ гардид, ба омӯхтани хусусиятҳои навъҳои молекулавии ҳаракат бештар аҳамият дода шуд. Дар оянда маркази вазнинӣ ба сӯи омӯхтани қонуниятҳои статистикӣ ва методҳои термодинамикӣ дар мисоли системаҳои молекулавӣ кӯчид. Ин равия ба барномаҳои мувофиқи мактабҳои олии соғор мебошад. Китобе, ки ба хонанда пешкаш мешавад, бо таваҷҷуҳ ба ин равиш таълиф ёфтааст.

Хусусиятҳои физикавии системаҳои макроскопӣ, ки аз шумораи зиёди зарраҳо таркиб ёфтаанд, бо ёрии методҳои статистикӣ ва термодинамикӣ омӯхта мешаванд. Дар методи статистикӣ хосиятҳои физикавии ҳисмҳои макроскопӣ ва ҳодисаҳои ҳароратӣ дар асоси сохтори молекулавӣ шарҳ дода мешаванд ва бо ин мақсад назарияи эҳтимолиятро васеъ истифода мебаранд. Бо методи термодинамикӣ бошад, асосан мубодилаи энергия дар байни системаҳои макроскопӣ бе дар назардошти сохтори дохилии ҳисмҳо тадқиқ карда мешавад.

Китоб тибқи мазмун ва мӯҳтавои нақшаи таълимии кафедраи «Физикаи умумӣ»-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон таълиф ёфтааст. Аксҳои олимони ва баъзе расмҳои мураккаб аз интернет гирифта шудаанд.

Муаллиф ба профессорони ДМТ Шерматов Нурмаҳмад, Мусбоҳиддини Нарзиқул, устоди ДДОТ ба номи С. Айнӣ дотсент Қодиров Бобоқул Абдуллоевич, устоди кафедраи физикаи умумии ДМТ дотсент Ҳоҷатулло Саъдуллозода барои маслиҳатҳои муфидашон дар бештар гардонидани мазмуну мундариҷаи китоб ва таҳрири он минатдорӣ баён менамояд.

Ин китоб таҷрибаи нахустини муаллиф дар таълифи китоби дарсӣ буда, ногузир аз камбудию норасоӣҳо холи нест. Бинобар ин, аз устодон, олимони, мутахассисони соҳа ва донишҷӯёни мӯҳтарам хоҳишмандам, ки фикру мулоҳизаҳои худро доир ба ин китоб ба нишони 734025 ш. Душанбе, хиёбони Рудакӣ 17, шуъбаи муҳитҳои конденсии институти илмию тадқиқотии ДМТ ба мо ирсол намоянд. Нишони электронии муаллиф: [nizomov@mail.ru](mailto:nizomov@mail.ru).

### Муқаддима

Таълимот дар бораи гармӣ аз садаи XVIII оғоз шудааст. То он вақт мафҳумҳои «температура» ва «гармӣ» (ҳарорат)-ро амалан фарқ намекарданд. Аксарият дар садаи XXI ҳам ин ду мафҳумро ба як маъно истифода мекунанд. Тадқиқоти олимони садаи XVIII ба андозагирии миқдории ҳодисаҳои ҳароратӣ таҳкурсии гузошт. Дар қоркарди миқёсҳо (шкалаҳо) барои андозагирии температура олими олмонӣ-голландӣ Габриэл Даниэл Фаренгейт (1686-1736), олими фаронсавӣ Рене Антуан Фершо де Реомюр (1683-1757) ва олими шведӣ Андерс Селсий (1701-1744) саҳми асосӣ гузоштаанд. Физики голландӣ Питер ван Мушенбрек (1692-1761) аввалин тадқиқотро перомунӣ аз гармӣ васеъшавии ҷисмҳои саҳт гузаронида, васеъшавии пораи оҳанро барои андозагирии температураи ғудохташавии як қатор металлҳо истифода бурд. Тадқиқи миқдории гузаронидаи Георг Вилгелм Рихман (1711-1753) оид ба омехташавии обҳои температураҳои гуногундошта, омӯхтани протсессҳои ғудохташавӣ ва бӯғшавӣ аз тарафи олими шотландӣ Чозеф Блэк (1728-1799) ба фарқкунии мафҳумҳои температура ва гармӣ оварда расонид. Дар ин давра воҳиди андозагирии миқдори гармӣ (калория), мафҳумҳои гармиғунҷоиш, гармиҳои ғудохташавӣ ва бӯғшавӣ ба илм дохил шуданд. Барои фаҳмондани моҳияти гармӣ ду назария истифода мешуд: як назария гармиро бо ҳаракати зарраҳо вобаста меконисту назарияи дигар ҳамчун материяи махсус – гармиофар. М.В. Ломоносов дар асари худ «Мулоҳизаҳо дар бораи сабаби гармӣ ва хунукӣ» гармиро ба афзудани ҳаракати пешравӣ ва ҷарҳзании зарраҳои модда вобаста кард, ки дар мурат-табсозии назарияи кинетикии газҳо дар садаи XIX истифода шудааст.

Ломоносов Михаил Василевич (1711-1765) аввалин олими табиатшиноси рус аст, ки фарқи мафҳумҳои «корпускула» (молекула) ва «элемент» (атом)-ро нишон дод. Дар асараш «Таҷрибаи назарияи чандирии ҳаво» (1748) ба ҳаракати зарраҳои газҳо вобаста будани хусусиятҳои чандирии онҳоро шарҳ дод. Соли 1748 қонуни бақои массаро кашф кард, ки соли 1774 А. Лавуазе пурра онро тасдиқ намуд. Ӯ як қатор асбобҳоеро, ки барои тадқиқи соҳаҳои физикаи молекулавӣ ва химияи физикавӣ истифода мешаванд (вискозиметр, рефрактометр), ихтироъ кардааст.



Назарияи атомии соҳти модда дар садаи XVIII хеле пеш рафт. Таҷриба ва мушоҳидаҳои зиёд (диффузия дар газҳо, моеъҳо ва ҷисмҳои саҳт, омехташавии моеъҳо, ҳалшавии ҷисмҳои саҳт дар моеъҳо) дурустии назарияи атомиро тасдиқ намуданд. Дар садаи XIX таълимот дар бораи гармӣ инкишоф ёфт ва маҷмӯи қоидаҳои асосии термодинамика ва назарияи молекулавӣ- кинетикии газҳо ташкил дода шуд. Дар охири садаи XIX ва ибтидои садаи XX тадқиқоти зиёд оид ба аз гармӣ васеъшавии ҷисмҳо гузаронида шуданд. Дикқати асосӣ ба як қатор аномалия (ҳодисаҳои ғай-

ричашмдошт) дар моеъҳо ва ҷисмҳои сахт равона карда шуд: анизотропияи васеъшавии кристалҳо, зичии зиёдтарини об дар  $4^{\circ}\text{C}$ , фишурдашавии йоди-ди нукра аз  $-10$  то  $70^{\circ}\text{C}$  ва ғ. Соли 1802 физик ва химики фаронсавӣ Жозеф Луи Гей-Люссак (1778-1850) дар асоси натиҷаҳои таҷрибаҳои ва тадқиқотҳои Жак Шарл (1746-1823) қонуни мунтазам ва ягонаи васеъшавии газҳоро пешниҳод ва коэффисиенти васеъшави онҳоро ҳисоб кард.

Далтон Ҷон (Dalton John) (1766-1844) - физик ва химики англис хосияти омехтаи газҳоро омӯхта, қонуни фишори омехтаи газҳо ва ба фишори ҷузъӣ (парсиалӣ) вобаста будани ҳалшавии газҳо ва қонуни таносуби каратиро барои пайвастагиҳои химиявӣ кашф намуд. Ба фишор ва температура вобаста будани бухоршавии моеъҳоро низ тадқиқ кардааст. Ба сифати хосияти асосии атом мафҳуми вазни атомиро ворид намуд. Ҳамчун воҳид вазни атомии гидрогенро қабул ва вазни атомии баъзе элементҳоро ҳисоб кардааст. Соли 1803 аввалин ҷадвали массаи нисбии атомҳоро тартиб дод.



Дар нимаи дуюми садаи XIX дар натиҷаи рушди назарияи мошинҳои ҳароратӣ (С. Карно) ва кашфи қонуни бақои энергия (Ю. Р. Майер, Ҷ. Ҷоул, Г. Гелмголтс) ба пайдоиши термодинамика ҳамчун илм замина пайдо шуд. Дар инкишофи термодинамика Р. Клаузиус ва У. Томсон (шарҳи қонуни дуюми термодинамика), Ҷ. Гибс (усули потенциалҳои термодинамикӣ), В. Нерст (қонуни сеюми термодинамика) ва дигарон саҳми назаррас гузоштаанд.

Карно Никола Леонар Сади (Nicolas Carnot) (1796-1832) – физики фаронсавӣ, яке аз асосгузори термодинамика, дар асари ягонааш «Мулоҳизаҳо оид ба қувваи ҳаракатдиҳандаи оташ ва мошинҳои, ки ин қувваро инкишоф дода метавонанд» соли 1824 масъалаи «аз гармӣ ҳосил кардани ҳаракат»-ро дар намуди умумӣ пешниҳод намудааст. С. Карно протсессҳои даврии идеалиро таҳлил карда, аввалин шуда ба хулосае омад, ки қори фойданок танҳо дар мавриди аз ҷисми гарм ба ҷисми нисбатан сард гузаштани гармӣ иҷро мешавад.  $\bar{U}$ , инчунин,



нишон дод, ки бузургии қори иҷрошуда ба фарқи температураҳои гарми-деҳ ва гармигир вобаста буда, ба табиати моддаи қорӣ дар муҳарриқи ҳароратӣ истифодашаванда вобаста нест. Карно тақрибан эквиваленти механикии гармиро муайян ва қонуни бақои энергияро дар намуди умумӣ баён намудааст. Қимати илмии корҳои Карно фақат пас аз тадқиқотҳои Б. Клапейрон (1834), У. Томсон ва Р. Клаузиус маълум гардид. Онҳо ғояҳои Карноро инкишоф дода, яке аз таърифҳои қонуни дуюми термодинамикаро пешниҳод кардаанд.

Майер Юлиус Роберт (Julius Robert von Mayer) (1814 - 1878) – табиб ва физики олмонӣ. Соли 1841 қонуни бақои энергияро пешниҳод кард, аммо ин мақола дар идораи маҷалла 36 сол хобид. Маҷаллаҳо ин мақоларо ҷоп накарданд ва ӯ онро дар намуди китобча аз ҳисоби худаш ҷоп кард. Дар ин китобаш эквиваленти механикии гармиро ҳисоб кард. Ин китоб дастраси умум нагашт ва физикҳо аз он беҳабар монданд. Аз ин сабаб Ҷоул ва Гелмголсро ҳамчун кашшофи қонуни бақо ва табдили энергия медонанд. Соли 1862 Клаузиус ва Тиндал ба тадқиқотҳои ӯ аҳамият доданд ва ӯро низ ҳамчун муаллифи қонуни бақои энергия эътироф намуданд.

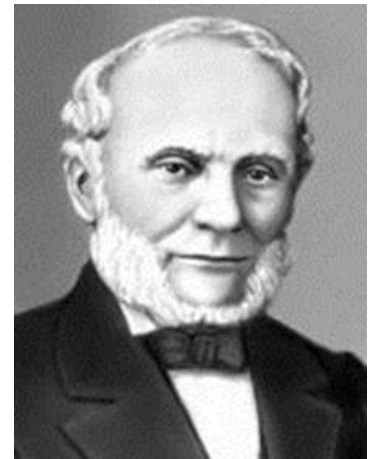


Ҷоул Ҷеймс Прескот (James Prescott Joule) (1818- 1889) – физики англис, дар тадқиқи ҳодисаҳои ҳароратӣ, дар бунёди физикаи температураҳои паст, дар асоснок намудани қонуни бақои энергия саҳми калон гузоштааст. Ӯ гармиро ҳамчун ҳаракати зарра пиндошта, соли 1851 гармигунҷоиши баъзе газҳоро ба таври назариявӣ ҳисоб кард. Дар якҷоягӣ бо Томсон дар таҷриба муқаррар намуд, ки ҳангоми аз девораи масомадор охиста ва статсионарию адиабатӣ ҷорӣ шудани газ температураи он тағйир меёбад. Ин эффект (падида)



барои моеъгардонии газҳо васеъ истифода мешавад. Эквиваленти механикии гармиро дар таҷриба муайян намуд.

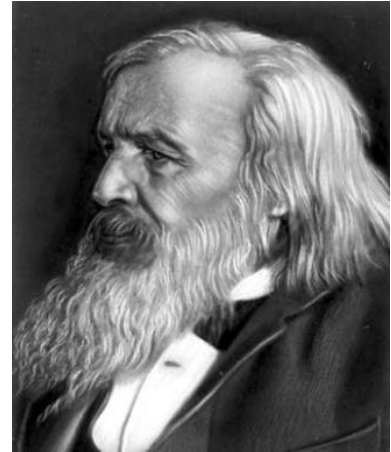
Клаузиус Рудолф Юлиус Иммануил (Rudolf Julius Emanuel Clausius) (1822 - 1888) - физики олмонӣ. Соли 1850 (дар як вақт бо Томсон) яке аз таърифҳои қонуни дуюми термодинамикаро пешниҳод ва соли 1865 мафҳуми энтропияро ба илм дохил намудааст. Ҳодисаҳои диффузия, гармигузаронӣ ва соиши дохилиро дар газҳо аз нуқтаи назари ягона маънидод кардааст. Мафҳумҳои гази идеалӣ ва дарозии роҳи озоди молекуларо ба илм дохил ва соли 1860 ин дарозии роҳро ҳисоб намуд. Назарияи кинетикии гузариши моддаро аз як ҳолати агрегатӣ ба ҳолати дигар пешниҳод ва муодилаи вобастагии температураи гудозишро аз тағйирёбии фишор ҳосил кардааст.



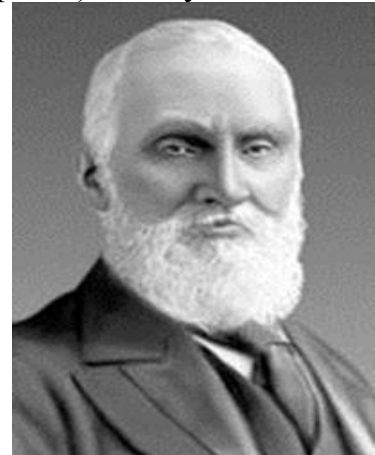
Таҳлили қонунҳои таҷрибавии газ ба Б. Клапейрон ва Д. И. Менделеев имкон дод, ки муодилаи ҳолати гази идеалиро ҳосил намоянд. Комёбиҳои ин соҳа ба термодинамика ва назарияи молекулавӣ-кинетикӣ протсессҳои ҳароратӣ заминаи устувор гузоштанд ва зимни ҷустуҷӯи мазмуни статистикӣ қонуни дуюми термодинамика қонунҳои статистика кашф шуданд.



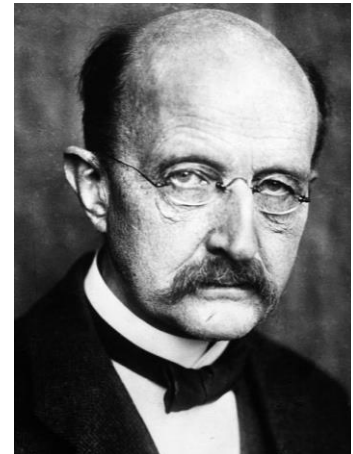
Менделеев Дмитрий Иванович (1834-1907) - олими рус, офарандаи системаи даврии элементҳо. Асарҳои муҳим доир ба назарияи газҳо, табдили ҳамдигарии газу моеъҳо (кашфи ҳолати критикӣ, ки аз ин температура баландтар моеъгардонии газ имконнопазир мебошад) ба ӯ тааллуқ доранд. Муодилаи ҳолати гази идеалиро бори нахуст ӯ дар намуди ҳоло истифодашавандааш ҳосил намуда буд. Назарияи гидратии маҳлулҳоро пешниҳод кардааст. Яке аз кашфиётҳои муҳимми ӯ муайян кардани «температураи мутлақи чӯшиши моеъҳо» мебошад, ки ҳоло ҳамчун температураи критикӣ (бухронӣ) маълум аст.



Томсон (аз соли 1892 лорд Келвин) Уилям (William Thomson) (1824 - 1907) - физики англис, яке аз асосгузори термодинамика ва назарияи кинетикии газҳо. Бо таъсири асарҳои Ч. Ҷоул ба масъалаҳои умдаи назарияи ҳароратӣ машғул шуд. Бо теоремаи Карно шинос шуда, соли 1848 шкалаи мутлақи термодинамикии температураро пешниҳод кард. Яке аз таърифҳои қонуни дуоми термодинамикаро ӯ додаст (соли 1851). Аз натиҷаи андозагирии энергияи кашии сатҳии пардаҳои моеъ андозаи молекуларо муайян кард, ки барои ғалабаи тасаввуроти атомистӣ нақши муҳим бозидааст.

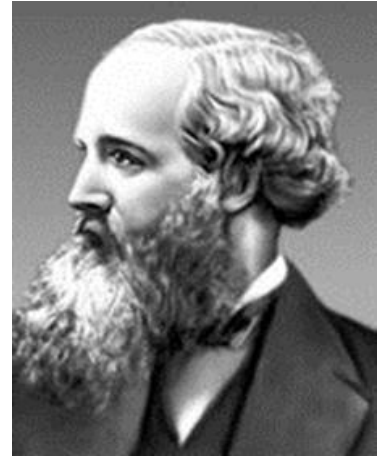


Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (Max Karl Ernst Ludwig Planck) (1858-1947) – физик-назариятчи оломӣ, асосгузори назарияи квантӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ аз физика (1918). Корҳои илмӣ ӯ ба термодинамика, афканишоти ҷисми мутлақ сиёҳ ва нурбарории ҳароратӣ мансуб мебошанд. Қонуни дуоми термодинамикаро асоснок кард ва барои ҳалли бисёр масъалаҳои физикаю химия қонунҳои термодинамикаро татбиқ намуд. Соли 1900 кванти таъсирро ба физика дохил кард ва дар асоси ғояи квантҳо қонуни афканишоти ҷисми мутлақ сиёҳро муайян кард, ки бо номи ӯ дар физика маъмул шудааст.



Дар протесси инкишофи назарияи кинетикии газҳо тадқиқотҳои Ч. Максвелл, Л. Болтсман, Ч. Гиббс физикаи статистикий классикиро ба вучуд оварданд. Дар инкишофи мафҳумҳои асосии физикаи статистикӣ, кашфу асоснок кардани қонунҳо ва принципҳои он саҳми Ч. Максвелл, Р. Клаузиус, Л. Болтсман, Ч. Гиббс, М. Смолуховский, А. Эйнштейн, Ш. Бозе, Э. Ферми, П. А. М. Дирак, Н. Н. Боголюбов ва И. Пригожин калон аст. Дар Тоҷикистон масъалаҳои ҷудоғонаи физикаи статистикийро С. У. Умаров ва А. А. Адҳамов бо шогирдонашон тадқиқ намудаанд.

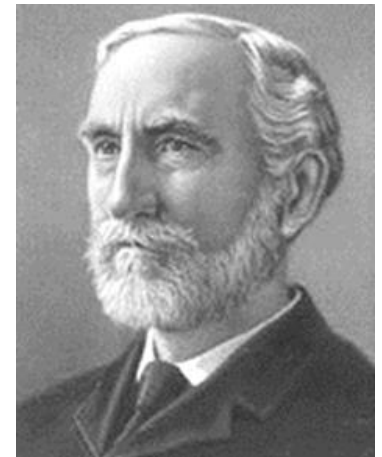
Максвелл Джеймс Клерк (James Maxwell) (1831-1879) - физики англис, яке аз асосгузори физикаи статистикӣ. Ӯ муаллифи қонуни тақсимои зарраҳо мувофиқи суръаташон, энергия ё импульс мебошад. Дар асоси назарияи пешниҳод намудааш қонуни Авогадро, ҳодисаҳои диффузия, гармигузаронӣ ва соиши дохилои шарҳ дод (назарияи интиқол). Соли 1867 табиати статистикӣ доштани қонуни дуҷуми термодинамикаро нишон дод. Муаллифи таносубҳои термодинамикӣ, қоидаи гузариши фазагии моеъ-газ аст. Ҷ. Максвелл асоси электродинамикаи классикии муосиро гузоштааст (муодилаҳои Максвелл).



Болтсман Людвиг (Ludwig Boltzmann) (1844-1906) – физики австриягӣ, яке аз асосгузори назарияи кинетикии ҳаракати молекулаҳо. Дар асарҳои ӯ назарияи ҳаракати молекулаҳо бори нахуст ҳамчун назарияи физикавӣ пай дар паю аз ҷиҳати мантиқӣ мукамал зоҳир гашт. Методи статистиқиро истифода бурда, муодилаи кинетикии газҳоро исбот кард, ки бунёди кинетикаи физикиро ташкил медиҳад. Энтропияи системаро бо эҳтимолияти ҳолатҳои микроскопии он вобаста кард ва хусусияти статистикӣ доштани қонуни дуҷуми термодинамикаро исбот намуд. Маънидоди статистикии қонуни дуҷум ва Н-теоремаи ӯ асоси назарияи протсессҳои барнагардандаро ташкил додаанд.



Гиббс Ҷозайя Уиллард (Josiah Gibbs) (1839-1903) – физик - назариётчи амриқоӣ, яке аз асосгузори механикаи статистикӣ ва термодинамика. Методи диаграммаҳои энтропииро пешниҳод ва дар термодинамикаи техникӣ истифода бурдааст. Баъд диаграммаҳои ҳолати сеченакаро дохил ва таносуби байни энергияи дохилӣ, энтропия ва ҳаҷмро муайян намуд. Назарияи умумии мувозинатии термодинамикӣ ва методи потенциалҳои термодинамиқиро пешниҳод ва қоидаи фазаҳоро ба илм дохил кардааст.

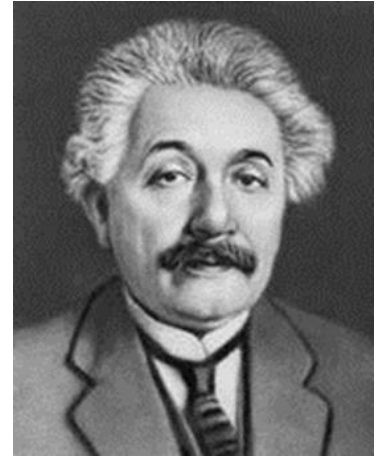


Қонуни дуҷуми термодинамикаро ба протсессҳои зиёде татбиқ намуда, муодилаеро ҳосил кард, ки алоқаи байни энергияи дохилии системаҳои термодинамикӣ ва потенциалҳои термодинамиқиро барқарор месозад.

Эйнштейн Алберт (Albert Einstein) (1879-1955) - физики олмонӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ дар соҳаи физика (1921), яке аз асосгузори табиатшиносии муосир, муаллифи назарияи нисбият ва кашфиётҳои назариявие, ки барои механикаи квантӣ, физикаи статистикӣ, космологияи релятивӣ ва электроникаи квантӣ замина шудаанд. Солҳои 1924-1925 ӯ ба инкишофи назарияи квантии газҳои идеалии якатома пардохт, ки дар



раванди он статистикаи Бозе (барои квантҳои рӯшноӣ) ба газҳои муқаррарӣ татбиқ карда шуд. Эйнштейн хулоса баровард, ки дуализми корпускулавию мавҷӣ нисбат ба гази идеалӣ ҳам ҷой дорад; маълум шуд, ки атомҳо аз ҳамдигар ҳеҷ фарқе надоранд ва сабаби фарқнашавандагии онҳо дар айни замон ҳам хосияти корпускула (зарра) ва ҳам хосияти мавҷии зарраҳои атомист. Ҳаракати броуниро ба таври назариявӣ маънидод кард ва тарзи муайян намудани масса ва адади молекула-хоро аз таҷриба пешгӯӣ намудааст. Баъд Ж. Перрен онро дар таҷриба тасдиқ кард. Ин тадқиқотҳои ӯ ба мавҷудияти воқеии молекула асос гузоштанд.

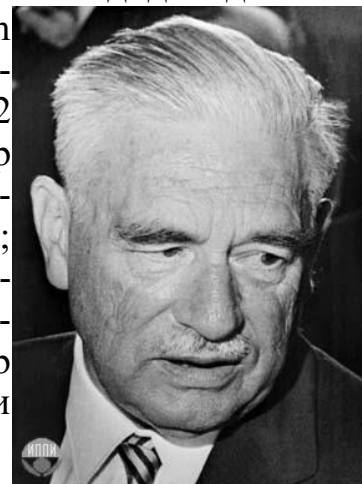


Пригожин Илья (Илья) Романович (1917-2003) – физики химикӣ белгиягӣ ва амрикоӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ дар соҳаи физика (1977). Асарҳои асосии ӯ ба термодинамика ва механикаи статистикӣ протсессҳои ғайримувозинатӣ, назарияи молекулавии маҳлулҳо мансуб мебошанд. Ӯ яке аз теоремаҳои асосии протсессҳои ғайримувозина-тиро пешниҳод намудааст: дар системаҳои кушода, ки бо муҳити атроф тавассути модда ё энергия доду гирифт мекунанд, дар ҷараёни протсесси барнагарданда бузургии энтропия доимӣ мемонад, ё худ аз мувозинатӣ бо муҳит кам мешавад.



Омӯзиши микдории моеъҳо аз тадқиқотҳои Д. Бернулли ва Л. Эйлер, Я.Д. Ван-дер-Ваалс, П. Дебай оғоз шудааст. Назарияи статистикӣ моеъҳоро Д.Г. Кирквуд (1907-1959), М. Борн (1882-1970), Г.С. Грин (1920-1999), Н.Н. Боголюбов (1909-1992), Я. И. Френкел такмил додаанд.

Петер Йозеф Вилгелм Дебай (Peter Joeseph Wilhelm Debye) (1884-1966) - физики голландӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ аз химия (1936). Соли 1912 модели ҷисми сахтро пешниҳод ва исбот кард, ки дар температураҳои паст гармигунҷоиши панҷараи кристаллӣ ба куби температураи мутлақ мутаносиб аст; инчунин назарияи гармигузаронии кристалҳои диэлектрикиро пешниҳод кард. Усули Дебай, ки ба мушоҳидаи интерференсияи афқанишоти рентгенӣ дар хокаи кристалҳо ва моеъҳо мансуб аст, дар тадқиқи сохтори моддаҳо ба таври васеъ татбиқ ёфтааст.



Дар ибтидои садаи XX физикаи молекулавӣ ба зинаи нави инкишоф дохил шуд. Дар тадқиқотҳои Жан Батист Перрен ва Теодор Сведберг (с.1906), М. Смолуховский ва Эйнштейн (1904-1906) оид ба ҳаракати броунии зарраҳо, исботи бевоситаи мавҷудияти молекула ба даст омад. Соли 1909 Перрен адади Авогадроро муқарар кард ва дар натиҷаи ин имконияти

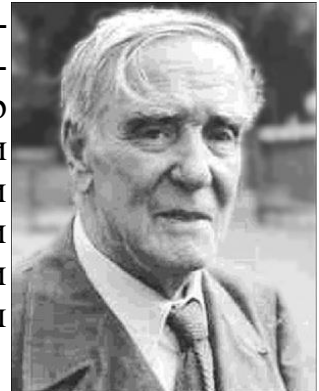
муайян кардани массаи молекула пайдо шуд. Таҷрибаҳои оянда имкон доданд, ки суръати молекулаҳо ва диаметри онҳо чен карда шаванд.

Яков Илич (Ильич) Френкел (Френкель) (1894 - 1952) – физик-назариётчи советӣ. ӯ муаллифи назарияи муосири ҳолати моеъии модда буд. Тадқиқотҳои бунёдии назарияи квантии ҷисми сахт (кристалҳо) ба ӯ тааллуқ доранд. Моҳияти нурфурӯбарии кристалҳоро омӯхта, мафҳуми экситонҳо – квазизарраҳоеро, ки ангезиши афкани-шотиро дар кристал паҳн месозанд, ба илм дохил кард. ӯ дар коркарди назарияи кинетикии моеъҳо саҳми зиёд гузоштааст. Я. Френкел назарияи молекулавии ҷоришавии ҷисмҳои сахтро такмил дод.



Дар инкишофи физикаи молекулавии ҷисмҳои сахт саҳми асосиро тадқиқотҳои илмии О. Бравэ (1811-1863), Е. С. Федоров (1853-1919), А. Шёнфлис (1853-1928), М. Лауэ (1879-1960), П. Книппинг (1883-1935), В. Фридрих (1883-1968), У. Г. и У. Л. Брэггҳо (1862-1942, 1890-1971), Ю. В. Вулф (1863-1925) ва дигарҳо ташкил кардаанд.

Капитса (Капица) Пётр Леонидович (1894-1984) - физики советӣ, академики АИ СССР, ду қарат Қаҳрамони меҳнати сотсиалистӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ дар соҳаи физика (с. 1978). Соли 1934 барои бо усули адиабатӣ моеъ гардондани гелий таҷҳизот сохт, соли 1939 усули нави моеъгардонии ҳаворо (бо ёрии сикли фишори паст) пешниҳод кард, ки дар турбодетандери самаранок ба амал меояд ва барои ба миқдори зиёд ҳосил кардани оксигени моеъ ва газмонанд истифода мешавад.



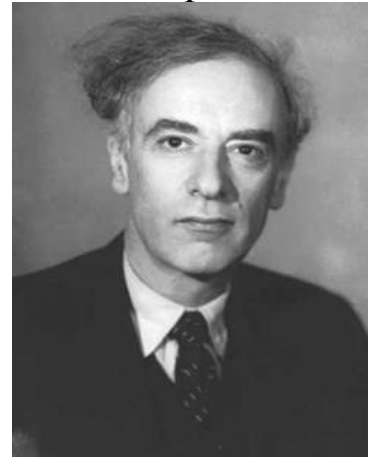
Соли 1938 ҳодисаи фавқулноқилияти гелийро кашф намуд ва нишон дод, ки ҳангоми гузаштани гармӣ аз девори зарф ба гелии моеъ дар ҷои расиши онҳо ҷаҳиши температура ба амал меояд.

Тасаввуроти миқдорӣ дар бораи ҳамтаъсироти молекулаҳо аз назарияи ҳодисаҳои капиллярӣ ба вуҷуд омадаанд. Дар тадқиқотҳои А. Клеро, Лаплас, Т. Юнг, Пуассон, К. Ф. Гаусс, Ч. Гиббс, И.С. Громеки, П. А. Ребиндер ва Б. В. Дерягин ин таълимот инкишоф ёфт. Омӯзиши таҷрибавии қувваҳои таъсироти байнимолекулавӣ аз кашфи методи дастаҳои молекулавӣ аз тарафи Л. Дюнуайе ва О. Штерн ибтидо мегирад.

Бо методи рентгенӣ (баъдтар бо методҳои электронография ва нейтронография) таҳлили сохтори ҷисмҳои сахт ва моеъҳо, тағйироти сохтор ҳангоми гузариши фазаӣ, тағйироти температура, фишор ва дигар параметрҳо омӯхта шуданд. Таълимот дар бораи ҳамтаъсироти молекулаҳо дар асоси тасаввуротҳои механикаи квантӣ дар тадқиқотҳои Макс Борн, Фритс Лондон ва Валер Гайтлер, инчунин П. Дебай ташаккул ёфт. Назарияи гузариш аз як ҳолати агрегатӣ ба ҳолати дигар, ки дар тадқиқотҳои Ван-дер-Ваалс ва У. Томсон пешбинӣ шуда буд ва дар оянда дар асарҳои Ч. Гиббс, Л. Ландау ва Макс Фолмер инкишоф дода шуд, ба назар

рияи муосири бавучудоии фаза табдил ёфт. Муттаҳидкунии методи статистикӣ бо тасаввуротҳои ҳозира дар бораи сохти модда дар тадқиқотҳои Я. И. Френкел, Генри Эйринг, Чон Десмонд Бернал ва дигарон боиси пайдоиши физикаи молекулавии моеъҳо ва ҷисмҳои сахт гардид.

Ландау Лев Давидович (1908-1968) - асосгузори физикаи назариявии советӣ, академики АИ СССР, Қаҳрамони меҳнати сотсиалистӣ, дорандаи Ҷоизаи Нобелӣ дар соҳаи физика (1962). Соли 1937 назарияи умумии гузаришҳои фазавӣ ва соли 1941 назарияи фавкулчоришавии гелийро бунёд кард. Солҳои 1940 - 1950 ҳамроҳи В. Л. Гинзбург назарияи фавкулноқилиятиро пешниҳод кард. Ӯ муаллифи китобҳои дарсии беҳтарин аз физикаи умумӣ ва физикаи назариявӣ мебошад, ки ин китобҳо дар ҷаҳон маъмулу машҳур ва ба забонҳои гуногуни дунё тарҷума шуданд. Мактаби илмӣ ӯ имрӯз ҳам дар ҷаҳон маъруфу машҳур аст.



Дар тайёр кардани физикдонҳои Тоҷикистон саҳми олимони маъруфи советӣ Иоффе А.Ф., Алфёров Ж.И., Ҳусейнов А., Михайлов И. Г., Шутилов В. А., Соловев В. А., Вукс М. Ф., Френкел С. Я., Журков С. Н., Регел В. Р., Гинзбург Б. М., Томашевский Э. Е., Лексовский А.М., Слутскер А.И., Сечкарев А. В., Сидорова А.И. (Санкт Петербург), Ноздрев В. Ф., Белинский Б.А., Бартенев Г. М., Хохлов В. А., Ахманов С.А., Сухоруков А.П., Лямов В. Е., Власов А. А., Климантович Ю.Л., Мещеряков М. Г., Маханков В. Г., Федянин В. К., Ситович В. Н., Силин В. П., Гуляев Ю., Ланшина Л.В., Горелик В.С., Рухадзе А. А., Леванюк А.П., Анисимов М.А., Вавилов В.С., Заиков Г.Е. (Москва), Голик А. З., Шиманский Ю. И., Чалий А.В. (Киев), Степанов Б. И., Жбанков Р. Г., Борисевич Н. А. (Минск), Перелигин И.С., Краузе А. С. (Уфа), Мустафин К.С., Протасевич В.И. (Қазон), Крестов Г. А., Захаров А. Г., Койфман О. И., Шарнин В. А. (Иваново), Бердиев А. А., Ҳамроев Б. Ҳ. (Ашқобод), Ҳабибуллоев П. Қ. (Тошқанд), Атохоҷаев А.Қ., Тухватулин Ф.Х., (Самарқанд), Наберухин Ю. И., (Новосибирск), Тагер А. А. (Екатеринабург), Фишер И. З. (Одесса), Юхновский И. Р., Головкин М. Ф. (Лвов) ва дигарон ниҳоят калон аст.

Перелигин Игор Сергеевич (1937-2002) – профессор, академики Академияи илмҳои табиатшиносии Россия, лауреати хонишҳои Синой (1995), Арбоби шоистаи илми Россия ва Ҷумҳурии Бошқирдистон. Мактаби илмӣ ӯ дар ҷаҳон шинохта шудааст. И. С. Перелигин чандин маротиба дар донишгоҳи курсҳои махсусро барои донишҷӯёну унвонҷӯён хонда, дар тайёр кардани кадрҳои баландхатисоси тоҷик саҳми босазо гузоштааст. Ӯ яке аз мутахассисони барҷастаи соҳаи спектроскопияи молекулавӣ ва татбиқи он ба тадқиқи сохтори модда ба ҳисоб меравад.



Ў барои ташаккули яке аз масъалаҳои фундаменталии табиатшиносии муосир: тадқиқи ҳамтаъсири молекулавӣ, байнионӣ, ион-молекулавӣ ва таъсири онҳо ба динамикаи зарраҳо дар муҳитҳои конденсӣ сахми босазое гузоштааст. Спектроскопияи лапишӣ, ки ин тадқиқотҳо ба он така мекунанд, ҳамчун методи босамар дар омӯзиши таҷрибавии таъсири сохтори электрони геометрии молекулаҳо ва ионҳо ба хосиятҳои сохторӣ ва термодинамикии модда нишон дода шудааст. Аз мактаби илмӣ ӯ бисёр олимони тоҷик баҳра бардоштаанд.

Марказҳои тадқиқоти физикӣ дар Тоҷикистон Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИ ҚТ, Институти илмӣ-тадқиқотӣ ва факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, факултетҳои физика ва кафедраҳои физикаи донишгоҳҳои олии ҷумҳурӣ мебошанд, ки роҷеъ ба физикаи назариявӣ ва физикаи муҳитҳои конденсӣ комёбиҳои назаррас ба даст овардаанд. Дар Тоҷикистон бисёр олимони намоёни соҳаи физика қору эҷод кардаанд.

Умаров Султон Умарович (1908-1964) – физик, академики АИ РСС Ўзбекистон ва Тоҷикистон, Арбоби шоистаи илми РСС Тоҷикистон, яке аз муассисони илм дар Ўзбекистон ва Тоҷикистон, профессори Университети давлатии Тоҷикистон. Солҳои 1957 - 1964 президенти Академияи илмҳои Тоҷикистон. Дар давраи сарвари академия будани ӯ дар пешрафти физика ва умуман илми тоҷик тақони ҷиддӣ ба амал омад, сохтори имрӯзаи академияи илмҳо ташаккул ёфт ва бо ташаббуси бевоситаи ӯ 12 институтҳои илмӣ-тадқиқотии АИ ташкил шудаанд.



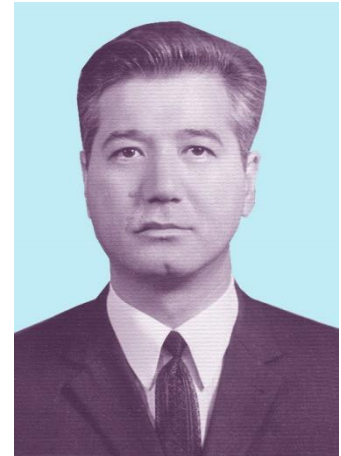
Ў бунёдгузори Институти физикаю техникаи АИ Тоҷикистон аст, ки ҳоло ба номи ӯст. Таълифоти илмӣ ӯ ба физикаи статистиқии релятивӣ (дар он замон ин тадқиқотҳо нахустин буданд ва танҳо солҳои 80-уми садаи ХХ ин равия ба рушд сар кардааст), физикаи ядро, соҳаи назарияи кинетиқии моддаҳо, физикаи электронӣ, назарияи қори асбобҳои нимноқилӣ ва фалсафаи табиатшиносӣ мансубанд. Назарияи адбсорбсияи обро дар нахҳои пахта ва электргузаронии нахҳоро таҳия кардааст. Кафедраи физикаи назариявии УДТ-ро ҳам ӯ ташкил карда ва аввалин мудири он буд.

Осимов (Осимӣ) Муҳаммад Сайфиддинович (1920-1996) – физик - файласуфи тоҷик, Ходими хизматни-шондодаи илми РСС Тоҷикистон. Солҳои 1965 - 1988 президенти Академияи илмҳои ҷумҳурӣ. Ӯ роҷеъ ба масъалаҳои фалсафаи физика, таърихи илм асарҳои пурарзиш таълифу баъзе проблемаҳои фалсафии физикаи муосирро дар заминаи омӯзиши таърихи тақомули мафҳуми материя таҳқиқ ва дар Шарқ вучуд доштани мактаби атомистикаи материалистиро собит кардааст. Осимӣ се ҷилди курси физикаи умумии муаллифон Фриш С.Э. ва



Тиморева А. В.–ро тарҷума намудааст, ки аз солҳои 60-уми садаи ХХ то ҳол ба сифати китобҳои беҳтарин аз физикаи умумӣ, ба забони тоҷикӣ шинохта мешаванд. Ҳамчунин, дар ташаккули истилоҳоти тоҷикии соҳаи физика ҳиссаи калон гузоштааст.

Адхамов Ақобир Адхамович (1928-1992) - физик, академики АИ ҶТ. Тадқиқоти илмии ӯ ба сохтори назариявии физикаи моеъҳо, акустикаи молекулавӣ, назарияи кинетикии паҳншавӣ ва фурӯбурди ултрасадо дар газҳо ва моеъҳо тааллуқ доранд. Солҳои 1953 - 1964 А. А. Адхамов нахустин шуда назарияи кинетикии паҳншавӣ ва фурӯбурди мавҷҳои ултрасадоро дар моеъҳо кор карда баромад. Назарияи кинетикию чандирӣ ва часпакии муҳитҳои ғайрирякчинса ва падидаи интиқолро тарҳрезӣ намудааст. Назарияи фурубӯрди резонансии ултрасадоро дар моеъҳо, назарияи



молекулавии ҳосиятҳои часпакию чандирии моеъҳо, назарияи лапишҳои ангармоникиро дар кристаллҳои вакансиядошта пешниҳод ва тадқиқ намудааст. Шогирдони ӯ Маҳмудов Т., Салоҳутдинов М. И., Асроров А., Асоев А., Саидов Ҳ. Р., Насриддинов М., Шокиров Ш., Лебедев В. И., Одинаев С., Солеҳов Т. Ҳ., Ашуров А., Ғаффоров А., Абдурасулов А. ва дигарон дар рушду нумӯи илми тоҷик саҳми босазое гузоштаанд.

Салоҳутдинов Мэлс Икромович (1937-2013) - физик, профессори ДМТ. Тадқиқотҳои илмии ӯ ба сохтори назарияи падидаҳои афзоиши сингулярии гармиғунҷоиш ва падидаи фурӯбурди аномалии садо ва гармиғунҷоиши моеъҳои тоза, омехтаҳои бинарӣ дар атрофи нуқтаҳои критикӣ, гузаришҳои фазагии ҷинси дуҷум ( $HeI \rightarrow HeII$ , гузаришҳои сегнетоэлектрӣ), бо усули Монте - Карло тадқиқи ҳосиятҳои термодинамикии кристаллҳои моеъ дар фазаҳои гуногун мансубанд. Аз мактаби илмии ӯ бисёр шогирдони болаёқат ба камол расида ва дар рушди илми физика дар Тоҷикистон ва хориҷ аз он хидмат карда истодаанд.



Одинаев Саидмуҳаммад (тав.1942) - физик, профессори ДМТ, академики АМИ Т. Ӯ дар илми муносири физика яке аз мутахассисони варзидаи соҳаи назарияи статистикии ҳолати моеъии моддаҳо мебошад. Усули аслии тадқиқи системаҳои классикӣ дар муҳити конденсӣ бо истифода аз муодилаҳои кинетикӣ дар ҳолати ғайримувозинатӣ аз ҷониби ӯ такмил дода шудааст. Тадқиқоти илмии ӯ ба рушди назариявии молекулавӣ-кинетикӣ, ҳодисаҳои интиқолӣ ва инчунин, таҳқиқи ҳосиятҳои чандирию акустикии моеъҳои классикӣ (сода, ионӣ ва магнитӣ),





маҳлулҳои молекулавӣ ва электролитӣ ва сахми протсессҳои релаксатсияҳои сохторӣ дар онҳо бахшида шудаанд.

Солеҳов Тағоймурод Ҳайтович (тав.1947) - физик, барандаи Ҷоизаи Академияи илмҳои ҷумҳури ба номи академик С.У. Умаров, узви вобастаи АМИ Т, профессори Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Тадқиқоти илмӣ ӯ ба таҳия ва таҳлили назариявии хусусиятҳои спектри пароканиши дукаратаи рӯшноӣ дар наздикии нуқ-таҳои критикии моеъҳо, майдони ҳароратии моеъҳо ва ҷисмҳои сахт дар зери таъсири афканишоти лазерӣ, оптоакустикаи лазерии моеъҳои квантӣ классикӣ ва фотоакустикаи ғайрихаттӣ бахшида шудаанд. Аз мактаби илмӣ ӯ



бисёр қавонони болаёқат баҳра бардошта ва ҳоло худ мустақилона кори илмӣ мебаранд.

Нарзуллоев Баҳрулло Нарзуллоевич (1927-1982) - физик, Ходими хизматнишондодаи илми Тоҷикистон. Ӯ асосгузори мактаби илмӣ омӯзиши физика ва механикаи полимерҳо дар ҷумҳури мебошад. Корҳои илмӣ ӯ асосан ба физикаи мустаҳкамӣ ва вайроншавии ҷисмҳои сахт, баҳусус полимерҳо тааллуқ доранд. Ӯ таъсироти омилҳои берунаро ба протсесси вайроншавии механикии ҷисмҳои сахт тадқиқ намуда, нишон дод, ки табиати термофлукуатсионии вайроншавии полимерҳо баъди

таъсироти ин омилҳо низ боқӣ мемонад, аммо табиати ин вайроншавӣҳо вобаста ба шароити мушаххаси таъсири омилҳои беруна тағйир ёфта метавонад. Бо роҳбарии ӯ дар асоси тадқиқоти сохтори нахҳои полимерии табиӣ ва тадқиқи вайроншавии механикии онҳо роҳҳои беҳтар кардани хосиятҳои истифодабарии онҳо (мустаҳкамӣ, тобоварӣ ба таъсироти муҳит ва шуоъ) пешбинӣ шудаанд. Дар мактаби илмӣ ӯ мутахассисони баланддараҷа, аз қабилҳои Қаримов С. Н., Бобоев Т., Туйчиев Ш., Саидов Д., Қурбоналиев М., Шерматов Д.С., Абдуллоев Ҳ. М.,



Султонов Н., Раҳматов А., Табаров С.Х., Рашидов Ҷ. ба камол расидаанд.

Қаримов Саидмуҳаммад Носирович (1936-2012) - физик, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, узви вобастаи АИ Тоҷикистон. Тадқиқоти илмӣ ӯ ба физика ва механикаи полимерҳо, хусусан ба кинетикаи вайроншавии радиатсионии маводҳои полимерии синтетикӣ ва табиӣ бахшида шудаанд. Тавассути пешгуи мустаҳкамии масолеҳи полимерӣ, усулҳои тадқиқи хосиятҳои физикавӣ механикии масолеҳи композитсионӣ ва полимерҳои табиӣ (пашм, пахта ва абрешим) пешниҳод ва роҳҳои беҳтар кардани хосиятҳои истифодабарии онҳо нишон дода шудааст.



Тўйчиев Шарофиддин (1943-2019) – физик, профессори ДМТ, узви вобастаи АМИ Т, Корманди шоистаи Тоҷикистон. Тадқиқоти илмиаш ба соҳаҳои назариявӣ ва таҷрибавии таҳлили рентгени сохтори мода, физикаи радиационии ҳисмҳои саҳт тааллуқ доранд. Ӯ концепсияи мурабтабӣ боломолекулавӣ полимерҳои тамоюлиро пешниҳод намудааст. Солҳои охир бо ҳамроҳии шогирдон ва ҳамкасбон ба тадқиқи васеи сохтор ва хосиятҳои физикавии системаҳои нанокарбондор, аз ҷумла маҳлулҳои нанокарбонҳо,



полимерҳои нанокарбондор ва нанотехнология, ки диққати марказҳои калонтарини илмии ҷаҳонро ба худ ҷалб кардаанд, машғул мебошад. Ӯ олимпиада соҳибмактаб буда, мактаби илмиаш дар ҷаҳон эътироф шудааст. Лабораторияи илмие, ки ӯ сарварӣ менамояд, бо асбобҳои ҳозиразамон ҷиҳозонида шудаанд, ки аз онҳо донишҷӯёни курсҳои болоӣ, унвонҷӯён, аспирантон ва докторантҳо бемаҳдудият истифода мебаранд.

Бобоев Тошбой (1942-2020) - физик, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, узви вобастаи АМИ Т, профессори ДМТ. Ӯ яке аз асосгузори равияи илмии физикаи ҳисмҳои саҳт - «Вайроншавии фотомеханикии полимерҳо» ба шумор меравад. Қонуниятҳои вайроншавии фото-механикии полимерҳоро ошкор ва роҳҳои баланд бардоштани устувории онҳоро дар шароити фото-механикӣ аз нуқтаи назари илмӣ асоснок кардааст. Таҳти роҳбарии ӯ тадқиқи вайроншавии полимерҳои композитӣ бурда шуданд, ки натиҷаашон бевосита дар соҳаи кишти-созии кайҳонӣ истифода шудааст.



Шокиров Ориф (1933-2005) – физик. Ӯ яке аз поягузори акустикаи молекулавӣ таҷрибавӣ дар Тоҷикистон ба ҳисоб меравад.

Аввалин шуда дар андозагирии фурӯбурди мавҷҳои ултрасадо аттенюатори худудино истифода бурд. Ҳангоми иҷрои корҳои илмии шартномавӣ ӯ бисёр навоариҳои дар ҳалли масъалаҳои гузошташуда дохил намудааст, ки ба дараҷаи ихтироот дар соҳаи илм баробаранд. Аз ҷумла, бе таъсири гармӣ беобгардонии модаҳо, муайянсозии афзоиши қатраҳо дар марказҳои гигроскопӣ вобаста ба намнокии ҳаво, бо ҷенкунии нишондоди шикасти моеъ ҳарчи зудтар муайян кардани намнокии ҳаво. Бо ташаббуси О. Шокиров ва А. Адҳамов с. 1965 лабораторияи



проблемавӣ оид ба татбиқи ултрасадо дар химия ва биология дар УДТ ташкил шуд. Олимон М. Ҷамолов, М. Акрамова, С. Ниёзов ва З. Низомов дастпарварони ин мактаб мебошанд. Шогирдон аз устод бисёр нозуқиҳои таълими физикаи молекулавиро омӯхтаанд.

Абдуллоев Хабибулло Одинаевич (1946-2020) - физик, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, узви вобастаи АМИ Т, профессори ДМТ, барандаи Ҷоизаи Академияи илмҳои ҷумҳурӣ ба номи академик С.У. Умаров. Ӯ яке аз асосгузори равияи илмӣ дар Тоҷикистон - назарияи сохторҳои ғайрихаттии системаҳои магнитӣ буда, тасвири назариявии бархӯрди ғайричандирии солитонҳо, сохтори ҳолатҳои умуми кардашудаи когерентиро нисбат ба гурӯҳҳои  $SU(2S+1)$  пешниҳод намудааст. Ҳалли чунин муодилаҳои ғайрихаттӣ ба намуди квазизарраҳо, солитонҳо ва ғайраҳо ифода меёбанд. Ӯ дар илми физикаи назариявӣ яке аз аввалинҳост, ки ташаккулёбии ва ҳамтаъсири солитонҳои ленгмюриро ҳамчун динамикаи ғайридаврии ноустувор ошкору алгоритми тадқиқи адабии муодилаҳои ғайрихаттиро муайян кардааст. Дар мактаби илмӣ ӯ олимони Мӯминов Ҳ.Ҳ., Рахимов Ф. Қ., Максудов А.Т. ва дигарон тарбия ёфтаанд, ки аз рӯи шохаҳои нав тадқиқот



бурда, доираи таҳқиқи ин масъалаҳоро васеъ карда истодаанд.

Мӯминов Ҳикмат Ҳалимович (тав. 1966)-физик, академики АМИ ҶТ, директори Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИ Т, профессори ДМТ. Тадқиқоти илмӣ ӯ ба соҳаи муҳити конденсӣ ва ҳодисаҳои ғайрихаттӣ тааллуқ доранд. Аз ҷониби ӯ назарияи ҳолатҳои умумишудаи когерентӣ вусъат дода шудааст, ки ҳодисаҳои мултиполӣ ва релятивистиро дар системаҳои квантии спинӣ ба назар мегирад. Назарияи гузаришҳои туннелӣ (нақбӣ)-ро дар наносохторҳо бо назардошти эффектҳои квадруполӣ тақмил додааст.



Аввалин шуда тарзи нави ҳалли муодилаи ғайрихаттии вектории Шредингерро ба даст оварда, устувории солитонҳои бисёрченакаро дар назарияи майдон нишон додааст. Тарҳрезии паҳншавии радиатсияи ядроиро дар модда қор кардааст, ки барои конверторҳои детекторҳои нейтронӣ истифода бурда мешавад.

Раҳимӣ Фарҳод (Раҳимов Фарҳод Қодирович) (тав. 1968) - физик, президенти АМИ Т, академики АМИ Т, профессори ДМТ, барандаи ҷоизаи Исмоили Сомонӣ дар соҳаи илм. Дар соҳаи тадқиқотҳои назариявии физикаи ҳодисаҳои ғайрихаттӣ дар муҳитҳои магнитӣ, омӯзиши солитонҳо ва ҳалли муодилаҳои интегро-дифференсиалии ғайрихаттӣ дастовардҳои илмӣ эътирофгардида дорад. Ӯ муаллифи 4 монографияи илмӣ ва 8 китоби дарсӣ мебошад. Соли 2012 аз рӯи натиҷаи қорҳои илмӣ-тадқиқотӣ ва саҳми онҳо дар рушди илми ҷаҳонӣ





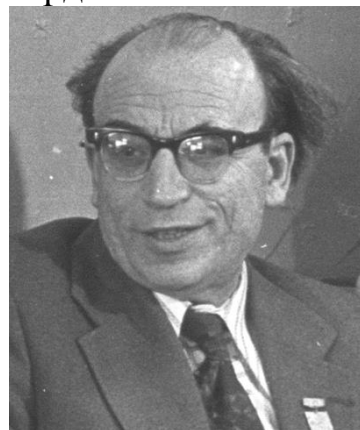
барандаи ҷоизаи байналмиллалии ЭКО дар соҳаи “Илм ва технология” гардидааст.

Ҳакимов Фотех Холиқович (1937-2015)- физик, Арбоби шоистаи илми Тоҷикистон, профессори ДМТ, узви вобастаи АИ ҶТ. Фаъолияти илмиаш ба масъалаҳои назариявии физикаи плазма бахшида шудаанд. Аз ҷониби ӯ пешниҳод гаштани назарияи умумии ҳамтаъсиrotи модулятсионии функцияҳои ғайримувозинатии тақсимоти зарраҳои заряднок имконияти баназаргирии ғайрихаттии дараҷаҳои баландро фароҳам овард. Тадқиқотҳои ӯ дар риштаи ноустувории модулятсионии плазмаи релятивӣ дар ҳалли проблемаҳои астрофизикӣ ёрӣ расонид.



Солҳои тулонӣ факултети физикаи ДМТ-ро сарварӣ кардааст.

Алперович (Альперович) Лев Исаакович (1924-2007) - физик, профессори ДДТ. Тадқиқотҳои илмии ӯ ба муайян намудани доимии оптикӣ муҳитҳои конденсӣ дар ҳудуди васеи спектрҳои фурубурди молекулавӣ, лазерҳо, паҳншавии нур дар ҳаво мансуб мебошанд. Дастовардҳои илмии ӯ, аз қабилӣ усулҳои оптикӣ назорати тозагии муҳити атроф, технологияи лазерӣ дар ҳалли як қатор масъалаҳои физикаи моеъҳо ва тиб татбиқи амалии ҳудро ёфтаанд. Ӯ яке аз аввалинҳо шуда дар факултети физика ва ДМТ иҷрои корҳои шартномавӣ



- хоҷагиро, ки аҳамияти илмӣ-амалӣ доштанд, ба роҳ монд. Барои инкишофи илми физика дар Тоҷикистон хизматҳои сазовор кардааст. Шогирдон «воҳиди поквичдонӣ»-и устодон – “1 алпер”-ро дохил карда буданд. Аз ӯ Марупов Р., Шербаф М.И., Нарзиев Б., Коровина В. М., Протасевич В.И., Нуруллоев М., Норматов И.Ш., Нечаев С., Осимӣ М. М., Низомов З., Мисоқов П., Исломов З.З., Белан И. С., Шабалов В.В., Ржевский В.Н., Хрипунов П.К., Бобоев Т.Б. ва дигарон сабақ гирифтаанд. Саҳми ӯ дар пешрафти илму маорифи ҷумҳурӣ ниҳоят назаррас аст.

Марупов Раҳим Марупович (1936-2020) – физик, академики АМИ Т, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, барандаи Ҷоизаи давлатии ба номи Абӯали ибни Сино. Ӯ мактаби спектроскопияи полимерҳоро дар Институти физикаю техникаи ба номи С. Умарови АМИ Т ташкил кардааст. Корҳои илмии ӯ ба тадқиқи полимерҳои табиӣ ва сунъӣ бо методи спектроскопияи инфрасурх мансуб мебошанд. Ӯ оид ба сохтори физикии нахи пахтаи бо роҳҳои генетикии гуногун пайдошуда ҳамачониба тадқиқот гузаронидааст, ки ба ҳосилкунии маводҳои ҳосиятҳои



талаботӣ ва дорои ранги ниҳоят устувор мусоидат кардааст.

Нарзиев Бозор (1938-2013) - Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, профессори ДМТ. Тадқиқоти илмӣ ӯ ба омӯзиши хосиятҳои оптикӣ моддаҳои конденсӣ- моеъҳо, маҳлулоҳо ва ҷисмҳои сахт, сохтори онҳо дар соҳаи васеи спектри фурубурди молекулаҳо, ҳодисаҳои оптикӣ дар ин муҳитҳо ба амалоянда, қобилиятҳои протонӣ-донорӣ ва протонӣ-аксептории молекулаҳо мансубанд. Ӯ аввалин шуда дар факултети физика тадқиқи моддаҳоро бо методи спектроскопияи инфрасурх ба роҳ мондааст. Натиҷаҳои ба дастовардаи ӯ дар соҳаҳои мухталиф (физикаи молекулавӣ, спектроскопияи молекулавӣ, химияи физикавӣ, сохтори модда) истифода бурда мешаванд.



Мақтаби илмӣ ӯ дар байни мактабҳои дигари ин соҳа обрӯю эътибори зиёд дорад. Аз ин мактаб олимони Нуруллоев М., Низомов З., Исломов З., Маҳкамбоев Ҷ., Абосов Б. ва Муллоев Н. сабақ гирифтаанд.

Исмоилов Исроилҷон (тав. 1939-2016) – Арбоби шоистаи илм ва техникаи Тоҷикистон, узви вобастаи АИ ҶТ, профессори ДМТ. Корҳои илмӣ ӯ ба электроникаи квантии нимноқилӣ, люминест-сенсияи фосфиди индий ва маҳлулоҳои он, сохтан, тадқиқи лазерҳои нимноқилӣ дар соҳаҳои намоён ва инфрасурхи наздики спектр, лазерҳои пурқуввати рубинӣ ва неодимӣ, батареяҳои пурқуввати диод-ҳои нурафкан барои дарозии мавҷи 0.81 мкм барои ангезонидани лазерҳои ҷисми сахтӣ дар гранати алюмо-итриевӣ, гетеролазерҳо дар асоси гетероструктураи GaInPAs/InP бо методи эпитаксияи моеъгӣ мансубанд. Ин лазерҳо дар температураи муътадил дар ҳудуди дарозии мавҷҳои 1.0-1.7 мкм кор мекунанд.



Бобоев Адҳам Сафарович (1935-2009)-физик. Тадқиқотҳои ӯ ба омӯхтани хосиятҳои нурафканӣ ва нурфурубарии кристалҳои фосфорӣ, усули ҳосил кардани пардаҳои ниҳоят тунук (40-50 ангстрем) ва тадқиқи хосиятҳои электрофизикавии онҳо, омӯхтани хосиятҳои электрооптикӣ кристалҳои моеъ мансубанд. Мақтаби илмӣ ӯ дар собиқ СССР яке аз намоёнтаринҳо буд. Олимони шинохта профессорон Сабуров Баҳодур, Маллабоев Умар шогирдони ин мақтаби маъруфанд. Ӯ яке аз олимони люминест, ки дастовардҳои илмиашро дар истеҳсолоти чорӣ кардааст.



Аксарияти тадқиқотҳои илмие, ки дар Институти астрофизикаи АИ ҶТ олимони маъруф Бобочонов П. Б., Добровольский О. В., Маҳсумов М. Н., Ибодов С. ва Ибодинов Х. бо шогирдонашон гузаронидаанд (гузариши фазагии чинси яқум дар температураҳои паст дар фазои байни сайёравӣ, гармигузаронии системаҳои температураи гудозишашон фарқи калон дошта), бо физикаи молекулавӣ робитаи зич дорад. Мақтабҳои илмӣ олимони Адҳамов А.А., Умаров Б.С., Муинов Т., Аҳмедов С.Ш., Мавлонов Ш., Марупов Р., Мӯминов Ҳ.Ҳ., Шукуров Т. дар Институти

физикаю техникаи ба номи С. Умарови АМИ ҚТ, Мирсаидов У. М., Холиқов Қ. Х., Ҳайдаров К.Ҳ., Ғаниев И. Н., Абулҳаев В.Қ., Муҳиддинов З. Қ., Куканиев М. Абдусаломова М.Н. ва Исобоев М. Қ. дар Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИ ҚТ, Ёқубов Ҳ. М., Кимсанов Б. Ҳ., Баситова С.М., Каримов М. Б., Холиқов Ш. Х., Аминҷонов А.О., Юсуфов З.Н., Азизкулова О.А., Раҳимова М.М., Сафармамадов С.М., Шеров Қ.М. дар факултети химия ва Раҷабов Н.Р., Сатторов А., Юнусӣ М.Қ., Нуров И.Қ. дар факултети механикаю математикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Одинаев Ҳ.О., Бадалов А., Турсунов А., Ҷураев Т., Зарипова М.А., Шарифов А., Кобулиев З.В., Ҳақдодов М.М. дар Донишгоҳи техникий Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ, Шерматов Д.С. , Раҷабов У. дар Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино, Саидов Ҳ.Р., Абдуманонов А., Тошхоҷаев Ҳ.А., Насриддинов М., Шокиров Ш. дар Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Б. Ғафуров, Маҷидов Ҳ., Бандаев С.Г., Солиев Л.С. дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ, Каримов С. дар Донишгоҳи давлатии Кулоб ба номи А. Рудакӣ корҳои илмиро дар савияи ҷаҳонӣ иҷро кардаанд ва иҷро карда истодаанд, ки ба масъалаҳои физикаи молекулавӣ алоқаманданд.

Мирсаидов Ёлмас Мирсаидович (тав.1945) – академики АМИ Т ва академияи илмҳои Ҷаҳони сеюм, лауреати ҷоизаи давлатии ҚТ дар соҳаи илм ва техникаи ба номи Абуали ибн Сино (2009), роҳбари Агентии амнияти ядрӣ ва радиатсионии АМИ Т. Солҳои 1995-2005 президенти АИ ҚТ. Соҳаи тадқиқоти ӯ – химияи моддаҳои дорои зиёдеңергия, технологияи маводҳои ғайриорганикӣ, амнияти радиоактивӣ ва экологияи химиявӣ. Олимони Ҳ. С. Сафиев, М.С. Пулатов, Р.Ф. Гатина, А.Б. Бадалов, А. Курбонбеков,



Норматов И.Ш., Назаров Ш.Б., Азизов Б.С., Шерматов Н., Рузиев Қ., Ғафуров Б.А. шогирдони ӯ мебошанд. Асосгузор ва роҳбари мактаби илмии энергетикаи гидрогенӣ дар Тоҷикистон.

Ғаниев Изатулло Наврузович (тав. 1948) – академики АМИ Т, корманди шоистаи ҚТ, лауреати мукофоти давлатии ҚТ дар соҳаи илм ва техника ба номи Абӯалӣ Ибни Сино, лауреати мукофоти Созмони байналмилалӣ Исломии фарҳанг, илм ва маориф дар соҳаи химия (ISESCO), барандаи медали калони тиллоии номсикказадашудаи Созмони умумиҷаҳонии нерӯи зеҳнӣ (WIFO). Самти асосии тадқиқоташ коркарди асосҳои назария ва амалияи синтези ҳулаҳои нави ба коррозия устувори алюминий



ва рӯҳ барои ниёзи техникаи наварин, инчунин назарияи маводшиносии ба коррозия тобовари алюминий ва ҳулаҳои он мебошад. Бо роҳбарии ӯ



зиёда 150 диаграммаи ҳолати системаҳои сегонаи алюминийдор тадқиқ ва сохта шудааст. Олимони шинохта Абдулҳаев В. Қ., Ҳайдар Одиназода, Назаров Х. М., Умарова Т. М., Сафаров А. М., Каримов Н. К., Бахтиёр Эшов, Раҳимҷон Саидзода шогирдони ӯ мебошанд.

Сафиев Ҳайдар (тав.1950) – академики АМИ Т, лауреати мукофоти давлатии ҚТ дар соҳаи илм ва техника ба номи Абӯалӣ Ибни Сино, барандаи ҷоизаи байналмилалӣ ЭКО оид ба илм ва технология. Соҳаи тадқиқоти ӯ - химия ва технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ, яке аз аввалинҳо шуда дар Тоҷикистон ба коркарди маҳсулоти хоми минералӣ ва партовҳои саноат тадқиқоти густурдаро ба роҳ мондааст. Чанд воситаи ҳосил кардани дурдабонҳои омехтаро пайдо кардаанд ва маҳсулоти ҳосилкардашон дар корхонаҳои саноатӣ



барои тоза кардани об истифода шуда истодааст. Директори Муассисаи давлатии “Институти илмию тадқиқоти металлургияи ранга”-и Корхонаи воҳиди давлатии «Ширкати алюминийи Тоҷик». Солҳои 2001-2005 ректори донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Олимони шинохта Сулейманов А.А., Назаров Ш.Б., Азизов Б.С., Рӯзиев Қ.Р., Юсупов С. шогирдони ӯ мебошанд. ӯ солҳои зиёд аз физикаи молекулавӣ ба донишҷуён сабақ омузондааст.

Юсуфов Зухуриддин Нуриддинович (1946-2010) - профессори ДМТ. Самти кори илмии ӯро таълиф, омӯзиш, санҷиши пайвастаҳои координатсионӣ ва татбиқи онҳо дар соҳаҳои кишоварзӣ, саноат, тиб, фармакология инчунин омӯхтани таърихи химияи тоҷик ташкил мекарданд. ӯ солҳои 1996-1999 ва 2005-2007 ба гирифтани дипломи ихтироъкори беҳтарини Тоҷикистон мушарраф гаштааст. Соли 2005 патенти дар ҳаммуалифӣ гирифтаи ӯ сазовори нишони тиллоии



Созмони байналмилалӣ «Ҳифзи моликияти зеҳнӣ» гардид. Олимон Раҳимова М., Юсупов Ш. ва Раҷабов У. аз мактаби илмии ӯ баҳра бардоштаанду дар рушду нумуши химияи физикавӣ ва координатсионӣ саҳми босазое гузошта истодаанд.

Аминҷонов Азимҷон Олимович (1951-2015) – профессори ДМТ, узви вобастаи АИ ҚТ. Тадқиқоти ӯ оид ба масъалаҳои гуногуни об дар таркиби пайвастҳои координатсионӣ бахшида шудаанд. Мактаби илмии ӯ берун аз ҷумҳурӣ шинохта шудааст. Профессорон Вербитская Н. А., Азизкулова О., Сафармамадов С. М., Нуруллоев М. ва Бекназарова Н. шогирдони мактаби илмии ӯ мебошанд. Дар асарҳои илмӣ ва таълимиаш ба алоқаи химияи координатсионӣ бо физикаи молекулавӣ аҳамияти зиёд додааст. Методҳои физикаи молекулавиро дар тадқиқотҳои илмиаш васеъ истифода бурдааст.



Шерматов Дустназар Саидович(тав.1947)–физик, узви ҳақиқии Академияи байналмилалии ихтирооти илмӣ, Узви ҳақиқии таълифоти илмӣ ва ихтироот, узви ҳақиқии илмҳои иҷтимоӣ ва педагогии Федератсияи Россия. Мудирӣ кафедраи физикаи тиббии Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино, профессор. Тадқиқотҳои илмӣ ӯ ба омӯзиши спектри дискретии хосиятҳои физикӣ ва табиати харобшавии полимерҳо бахшида шудааст. Тахти роҳбарии ӯ 5 нафар шогирдон



рисолаҳои номзадӣ дифоъ намудаанд. Дар тарбияи чанд насли мутахассисони ҷавони тиб саҳми босазо гузошта-аст. ӯ яке аз аввалинҳо шуда дар донишгоҳи тиббӣ забони тоҷикӣ китоби «Физикаи тиббӣ»-ро таълиф намуда муаллифи 8 китоби дарсӣ аст.

Маҷидов Ҳамид (тав.1946) –физик, Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, профессори Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон. Корҳои илмӣ ӯ ба хосиятҳои термофизикии газҳо, моеъҳо, маҳлулҳо, маводҳои композитсионӣ ва ба гармӣ тобовар мансубанд. Бо ташаббуси ӯ дар Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни лабораторияҳои илмӣ-тадқиқотӣ оид ба тадқиқи хосиятҳои термофизикии моддаҳо таъсис дода шуд ва ҷавонони зиёд аз ин мактаби илмӣ баҳра бардоштаанд.



Дар эҷоди истилоҳоти тоҷикии физика ва таълифи китобҳои дарсӣ аз физика барои донишҷӯёни мактабҳои олии ба забони давлатӣ саҳми олимони Муҳаммад Сайфиддинович Осимӣ, Саидҷаъфар Қодирӣ, Январ Шукрии Самарқандӣ, Пирмаҳмад Нуров, Ҳочатулло Саъдуллозода ва дигарон ниҳоят бузург аст. Ба китобнависӣ шурӯъ кардани олимони факултети физика натиҷаи корҳои тадқиқотии ин олимони дар соҳаи истилоҳоти физикӣ мебошад. Чопи луғатҳои тафсири аз физика имкон доданд, ки китобҳои дарсӣ, дастурамалҳои методӣ дар тамоми соҳаҳои физика дар факултет таълиф карда шавад. Факултети физика дар ин соҳа дар донишгоҳ пешсаф мебошад.

Дар давраи советӣ асосан ҳамон соҳаҳои физика рушд ёфтанд, ки бо саноати мудофиавӣ алоқаманд буданд. Махсусан, дар соҳаҳои физикаи ядро, электроникаи квантӣ, техникаи кайҳонӣ СССР дар ҷаҳон пешсаф буд. Агарчи дар нимаи дуюми садаи XX хароҷот ба илм чандин маротиба афзудаю институтҳои тадқиқотии нав ба нав кушода шуданд, пешрафти назаррасе дар илм мушоҳида намешуд. Шаш соли бозсозӣ (1985- 1991) ба мавқеи илм таъсире нарасонид. Баъди пошхӯрии СССР ва ташкили Иттиҳоди давлатҳои мустақил низ ин мавқеъ боқӣ монд. Бисёр олимони ба хориҷ рафтанд. Танҳо дар «империяи» Билл Гейтс Майкрософт (Microsoft) аз 120 ҳазор коргаронаш 65%-ро хатмкардагони мактабҳои олии собиқ СССР- математикҳо, физикҳо ташкил медиҳанд.

Аз соли 1901 то 2015 дар соҳаи физика 109 маротиба Ҷоизаи Нобелӣ супорида шудааст, ки 198 нафар намояндагони 19 мамлакат мебошанд. Аз онҳо 83 нафар аз Иёлоти муттаҳидаи Амрико (ИМА), 23 нафарӣ аз Англия ва Германия, 13 нафар аз Франсия, 9 нафар аз Нидерландия, 7 нафар аз Япония, 4 нафарӣ аз Шветсия ва Швейцария, се нафарӣ аз Австрия, Италия, Дания, ду нафарӣ аз Канада ва Хитой, як нафарӣ аз Ирландия, Ҳиндустон, Покистон, Белгия ва Австралия. 10 нафар олимони советӣ ва Руссия ба ин ҷоиза сазовор гаштаанд: соли 1958 Черенков П. А., Франк И. М. ва Тамм И. Е., соли 1962 –Ландау Л. Д., соли 1964 –Басов Н. Г. ва Прохоров А. М., соли 1972–Капитса П. Л., соли 2000 –Алферов Ж. И., соли 2003 – Гинзбург В. Л. ва Абрикосов А. А. Пешсафии лауреатҳои америкоӣ бо он сиёсате, ки ҳукумати ИМА нисбат ба бозсозии сохторию технологияи иқтисодиёт мебарад, вобаста аст. Моҳияти ин сиёсат азнавтаҷҳизонии техникаи истеҳсолот дар заминаи татбиқи васеи дастовардҳои навини илмӣ-техникӣ мебошад.

Соли 1974 тадқиқотчиҳои япон Танигучи барои тавсифи протсессҳои, ки дар фазои андозаи хаттиаш аз 10 то 100 нм ба вучуд меоянд, мафҳуми нанотехнологияро дохил намуд. Дар асл нанотехнология соли 1981 бо сохтани микроскопи нақбии мушоҳидавӣ ибтидо ёфтааст. Олими олмонӣ Бинниг, физики швейтсарӣ Рорер барои ин ихтироот соли 1986 сазовори Ҷоизаи Нобелӣ гаштаанд. Бо ёрии ин микроскоп атомҳои алоҳида, ё ки қисми молекуларо ба ҷойҳои лозимӣ кучонидан имконпазир аст. Гузариш ба нанотехнология маънои инқилоби нави саноатиро дорад. Истифодаи он дар техникаи ҳисоббарор (компютерҳои квантии наноандоза), информатика (модули хотира, ки имконияти нигоҳдории триллионҳо бит маълумотро дар ҳаҷми ниҳоят хурд доро мебошад), хатҳои коммуни-катсионӣ, истеҳсоли роботҳои саноатӣ, тиб дурнамои бузург доранд.

Пайдоиши соҳаи физикаи фишорҳои паст, физикаи энергияҳои азим, термодинамикаи протсессҳои барнагарданда, нанотехнология, астрофизикаи молекулавӣ нишонаи серсоҳагии физикаи муосир аст, ки дар инқилоби илмию техникаи замони ҳозира саҳми бениҳоят калон дорад. Масъалаҳои физикавӣ ҳеҷ гоҳ тамом намешаванд, чунки ҳамеша ходисаҳои дар табиат ёфт мешаванд, ки онҳоро тадқиқ ва маънидод кардан лозим меояд.





Иштирокчиёни конференсияи машҳури 5-уми байналмилалии физикҳо, Октябри соли 1927.

Қатори якум аз чап ба рост: Ирвинг Ленгмюр(1932 аз химия), Макс Планк (1918), Мария Складовская Кюри (1902, 1911 аз химия), Хендрик Лоренс (1902), Алберт Ейнштейн (1921), Пол Ланжевен, Шарл Еуген Гюи, Чарлз Томсон Риз Вилсон (1927), Оуен Уилямс Ричардсон(1928). Қатори дуюм аз чап ба рост: Петер Дебай (1936 аз химия), Мартин Кнудсен, Уилям Лоуренс Брэгг (1915), Ханс Крамерс, Пол Адриен Морис Дирак(1933), Артур Холли Комптон (1927), Луи де Бройл(1929), Макс Борн (1953), Нилс Бор (1922). Қатори сеюм аз чап ба рост: Август Пиккар, Эмил Генриот, Паул Эренфест, Эдуард Гертсен, Теофил де Дондер, Эрвин Шрёдингер (1933), Жюл Эмил Варшафелт, Валфганг Паули (1945), Вернер Карл Гейзенберг (1932), Ралф Говард Фаулер, Леон Никола Бриллюэн.

## БОБИ I. МЕТОДИ СТАТИСТИКӢ

### §1.1 Методҳои омӯхтани рафтори системаи зарраҳои зиёд

Асоси назарияи молекулавӣ-кинетикӣ сохти моддаро се нукта ташкил медиҳанд, ки ҳар яки онҳо дар таҷриба тасдиқ шудаанд: модда аз зарраҳо иборат аст; ин зарраҳо доимо дар ҳаракатанд; зарраҳо бо ҳам дар таъсири мутақобилаанд.

Молекула (аз лотинии «масса» ва пасоянди- «кула», муродифи нишондиҳандаи хурдӣ ба мисли -ак, -як) зарраи хурдтарини устувори модда аст, ки ҳанӯз хосиятҳои химиявии ин моддаро дорост. Дар оянда танҳо мафҳуми молекуларо истифода мебарем. Молекула аз як ё якчанд атомҳои элементҳои якхела ё гуногун таркиб ёфта метавонад. Масалан, молекулаҳои газҳои инертӣ аз як атом ва молекулаҳои дигар газҳо, ба мисли гидроген, оксиген, нитроген, хлор, йод, фтор аз ду атом иборатанд. Қисмҳоеро, ки аз адади ниҳоят зиёди молекулаҳо таркиб ёфтаанд, қисмҳои макроскопӣ меноманд. Молекулаҳо массаи кам доранд, вале адади онҳо дар қисмҳои макроскопӣ ниҳоят зиёд аст. Масса ва адади молекулаҳо дар қисмҳои макроскопӣ ба воситаи бузургиҳои нисбӣ ифода мекунанд.

Массаи нисбии молекулаи ягон модда  $M_n$  бузургии мебошад, ки ба нисбати массаи молекулаи моддаи додашуда  $m_0$  бар  $1/12$ -хиссаи массаи атоми карбон ( $C^{12}$ ) баробар аст:

$$M_n = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_0 C^{12}} \quad (1.1)$$

Бузургии  $m_g = \frac{1}{12}m_0 C^{12} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ -ро массаи воҳидӣ меноманд.

Пас  $M_n = \frac{m_0}{m_g}$  аст. Массаи нисбӣ воҳид надорад, яъне адади ҳолис мебошад. Дар системаи даврии элементҳои Менделеев массаи нисбии атомҳо оварда шудааст. Массаи нисбии атомҳо аз 1 то як чанд сад ва массаи нисбии молекулаҳо аз 2 то садҳо ҳазор буда метавонад. Массаи нисбии атомҳои таркиби молекуларо ҳам карда, массаи нисбии онро муайян кардан мумкин аст. Мисол:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O}: & \quad M_n = 2 \cdot 1 + 16 = 2 + 16 = 18; \\ \text{C}_6\text{H}_6: & \quad M_n = 6 \cdot 12 + 6 \cdot 1 = 72 + 6 = 78; \\ \text{CO}_2: & \quad M_n = 12 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 12 + 32 = 44. \end{aligned}$$

Миқдори модда  $\nu$  нисбати адади молекулаҳои дар таркиби моддаи додашуда  $N$  бар адади атомҳои дар таркиби  $0,012 \text{ кг}$  карбон  $N_A$  мавҷуд буда аст:  $\nu = \frac{N}{N_A}$ , воҳидаш мол. Як мол миқдори моддаест, ки теъдоди зарраҳои сохториаш ба адади атомҳои дар  $0,012 \text{ кг}$  карбон мавҷуд буда баробар мебошад. Адади молекулаҳои дар як мол модда бударо адади Авогадро ( $N_A$ ) меноманд.

$$N_A = \frac{0,012 \text{ кг}}{12m_g} \text{ мол}^{-1} = \frac{10^{-3}}{m_g} \text{ мол}^{-1} = \frac{10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-27}} \text{ мол}^{-1}, \quad N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{мол}}.$$



Миқдори модда ба адади зарраҳо дахл дорад. Масалан, дар зарф 1 мол об гуфтан хатост, балки 1 мол молекулаи об гуфтан равост. 1 мол молекулаи об 2 мол гидрогену 1 мол оксиген, 10 мол протон, 8 мол нейтрон ва 10 мол электрон дорад. Миқдори модда ва адади Авогадроро доништа, адади молекулаҳои таркиби моддаро муайян карда метавонем:  $N = \nu N_A$ .

Массаи 1 мол моддаро массаи моли ( $M$ ) меноманд:

$$M = N_A m_0 = N_A m_g M_n = M_n 10^{-3} \text{ кг/мол.} \quad (1.2)$$

Аз ин ҷо миқдори моддаро ин тавр ҳам ифода карда метавонем:

$$\nu = \frac{Nm_0}{N_A m_0} = \frac{m}{M}. \quad (1.3)$$

Массаи молекулаи алоҳида  $m_0 = M/N_A$ , ё ки  $m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} M_n$ , кг аст.

Аз формулаи (1.3) истифода бурда адади молекулаҳо барои массаи ихтиёрии гази маълум ҳисоб менамоем:

$$N = \frac{m}{M} N_A. \quad (1.4)$$

Барои мисол, адади молекулаҳои таркиби оби массааш  $m=1$  кг дар асоси формулаи (1.4)  $N = \frac{1 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг мол}^{-1}} \approx 3,33 \cdot 10^{25}$  аст.

Массаи як молекулаи обро ҳисоб мекунем:  $m_{H_2O} = \frac{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{мол}^{-1}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ .

Ҳаҷми як моли модда  $V_\mu$ -ро тавассути зичӣ ( $V_\mu = \frac{M}{\rho}$ ) ёфта, ҳаҷми як молекуларо муайян карда метавонем:

$$V_0 = \frac{M}{\rho N_A}. \quad (1.5)$$

Чунончӣ, ҳаҷми як молекулаи об

$$V_0 = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \text{ м}^3 = 30 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3 \text{ аст.}$$

Молекулаи обро чун курраи радиусаш  $r$  пиндошта ба эътибор меги-рем, ки  $V_0 = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx 4r^3$  мебошад, он гоҳ радиуси молекулаи об:

$$r \approx \sqrt[3]{\frac{V_0}{4}} \approx \sqrt[3]{8 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,2 \text{ нм} \text{ аст.}$$

Дар механика ҳаракати системаро бо методи динамикӣ меомӯзанд. Дар  $1 \text{ см}^3$ -и ҳаво дар шароити нормалӣ  $2,7 \cdot 10^{19}$  молекула ҳаст. Мувофиқи методи динамикӣ, барои ҳар як молекула 3 координата ва 3 проексияҳои суръат ё импульс, яъне  $6 \times 2,7 \cdot 10^{19}$  параметрро донистан лозим меояд.

Агар мошини ҳисоббарор дар як сония  $10^6$ -ададро қайд кунад, барои бақайдгирӣ  $6 \times 2,7 \cdot 10^{13}$  с, яъне  $\approx 6$  миллион сол ( $1 \text{ сол} = 3,16 \cdot 10^7$  с) лозим мешавад. Масалан, барои ҳисоб кардани танҳо энергияи кинетикӣ 21 миллион сол ва барои натиҷаҳо қайд кардан боз 2 миллион соли дигар даркор мешавад. Аз ин лиҳоз, методи динамикӣ аз ҷиҳати техникӣ ғайриимкон мебошад. Аз тарафи дигар, агар аз ин миқдор молекулаҳо маълумот дар бораи миллиард молекула гум шавад ҳам, аз маълумот дар бораи як одам нисбат ба аҳолии рӯи Замин ( $\sim 7,5$  миллиард) камтар аст. Бо ин сабаб методи динамикӣ аз ҷиҳати назариявӣ камсамар доништа мешавад.

Дар як сония молекулаҳо тақрибан  $10^9$  маротиба бо ҳамдигар бар-мехӯранд, аз ин ҷиҳат ҳам методи динамикӣ барои маънидоди моҳияти физикавии ҳодисаҳо бефоида аст.

Барои шарҳи системаи аз зарраҳои зиёд таркибёфта бузургии тавсифдиҳанда на ба зарраи алоҳида, балки ба системаи зарраҳо бояд тааллуқ дошта бошад. Ин методро методи статистикӣ ва қонуниятҳое, ки дар асоси он муайян карда мешаванд, қонуниятҳои статистикӣ меноманд. Методи статистикӣ ба назарияи эҳтимолият асос ёфтааст. Физикаи статистикӣ асоси назариявии физикаи газҳо, моеъҳо ва ҷисмҳои сахтро ташкил медиҳад. Ҳадафи асосии физикаи статистикӣ аз ҳисоб кардани бузургҳои макроскопии ҷеншавандае иборат аст, ки системаи мазкурро аз назари қонунҳои ҳаракат ва ҳамтаъсири зарраҳои таркибии он тасвир мекунад.

Дар методи термодинамикӣ хосиятҳои физикавии системаҳои макроскопӣ бо роҳи таҳлили шароит ва табдилоти миқдори энергия дар ин ситемаҳо омӯхта мешаванду сохтори молекулавии моддаҳо ба назар намегиранд. Термодинамика дар маънидоди ҳолати системаҳои макроскопӣ ва протсессҳои дар онҳо гузаранда ба муваффақиятҳои калон соҳиб гардида, барои тадқиқи ҳодисаҳои ҳароратӣ дар газҳо, моеъҳо ва ҷисмҳои сахт ва сеъ истифода бурда мешавад.

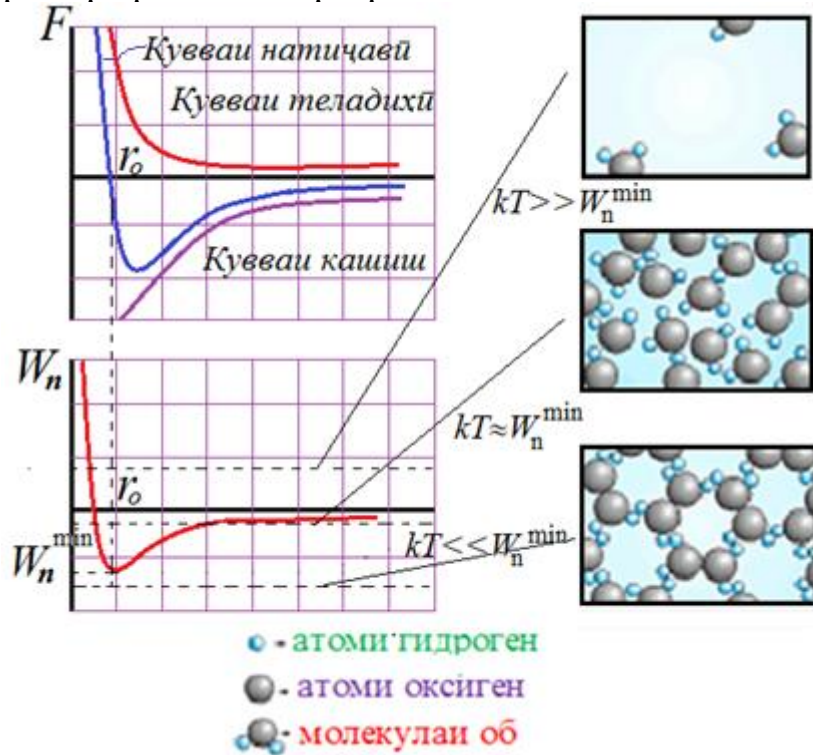
Термодинамика хусусиятҳои умумитарини системаҳои макроскопиеро меомӯзад, ки дар ҳолати мувозинатии ҳароратӣ қарор доранд. Термодинамика аз қонун(баъзан-принсип, ибтидо)-ҳое иборат аст, ки дар натиҷаи ҷамъбасти натиҷаҳои таҷрибаҳои зиёд ба даст омадаанд. Қонуни якуми термодинамика ифодаи қонуни бақои энергия барои системаҳое мебошад, ки дар онҳо протсессҳои ҳароратӣ мавқеи муҳим доранд. Қонуни якуми термодинамикаро олими олмонӣ Ю.Р. Майер таъриф додааст ва баъдтар Г. Гелмголтс (1847) дар шакли мукаммали физикавӣ баён кардааст. Қонуни дууми термодинамикаро физики олмонӣ Клаузиус (1850) чунин таъриф додааст: гармӣ худ аз худ аз ситемаи температурааш паст ба ситемаи температурааш баланд гузашта наметавонад. Қонуни сеюми термодинамика қимати мутлақи энтропияро муайян мекунад. Онро, инчунин, қонуни ҳароратии Нерст низ меноманд. Бино ба ин қонун, энтропияи ситемаи дилхоҳ  $S$  дар температураи  $T$ -и ба сифри мутлақ майлқунанда ба қимати худудие соҳиб мегардад, ки он ба фишор ва зичӣ вобаста нест. Соли 1911 М. Планк қонуни сеюми термодинамикаро ба таври зерин шарҳ дод: ҳангоми ба сифр майл кардани температураи мутлақ энтропияи ситема ҳам ба сифр майл мекунад. Дар охири садаи 19 ба термодинамика олами микроскопии ҳаракати бетартибонаи (ҳароратии) молекулаҳо илова гардид. Асоси назариявии он дар тадқиқотҳои Максвелл, Болсман ва Гибс бунёд шудаанд.

Омӯхтани физикаи молекулавиро аз муҳокимаи қонуниятҳои статистикӣ рафтори системаи молекулаҳо оғоз менамоем. Дар идома мо бо қонуниятҳои термодинамикӣ низ шинос мешавем.

## 1.2 Ҳолатҳои агрегатии модда

Омӯхтани ҳамтаъсири молекулаҳо собит кардааст, ки дар масофаҳои аз андозаи худи онҳо хурд қувваҳои теладиҳӣ таъсир мекунад дар масофаҳои дур - қувваҳои кашиш.

Молекулаҳо байни худ бо қувваҳои таъсир мекунад, ки аз маҷмӯи қувваҳои ҷозибаи теладиҳӣ иборатанд. Дар расми 1.1 вобастагии қувваҳои теладиҳӣю ҷозиба ва натиҷавӣ вобаста ба масофаи байни марказҳои молекулаҳо ( $r$ ) ба тарзи графикӣ тасвир ёфтааст:

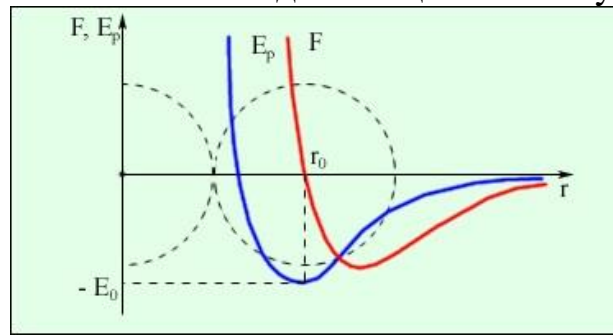


Расми 1.1

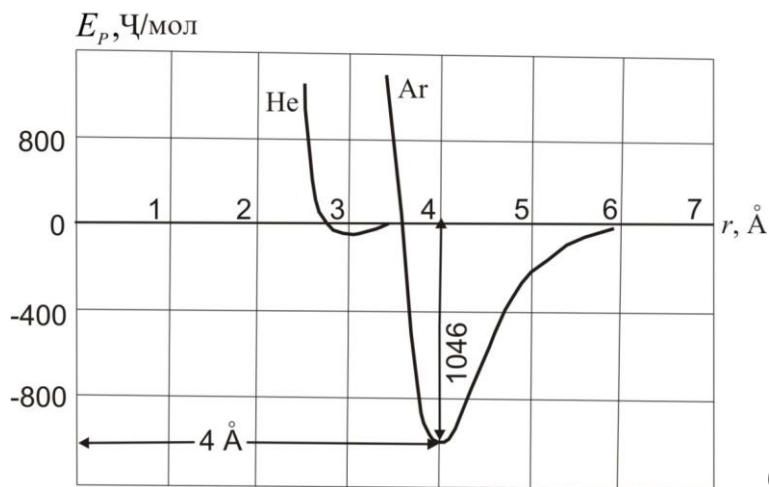
Аз расми 1.1 дида мешавад, ки дар масофаи  $r=r_0$  қувваҳои теладиҳӣю ҷозиба якдигарро компенсатсия мекунад (ба мувозинат меоранд), яъне қувваи натиҷавӣ баробари сифр аст ва молекулаҳо дар маҷмӯи мувозинатӣ ҷойгир мешаванд. Ҳангоми масофаи байни молекулаҳо аз  $r_0$  зиёд шудан ( $r>r_0$ ) қувваҳои ҷозиба ва дар мавриди  $r<r_0$  қувваҳои теладиҳӣ бартарӣ до-ранд. Барои мисол, дар расми 1.2 а хати қачии энергияи потенциалӣ ва қувваи таъсири мутақобилаи молекулаҳо ва дар расми 1.2 б хати қачии энергияи потенциалии таъсири мутақобилаи молекулаҳои гелий ва аргон оварда шудааст. Дар расми 1.2 масофа бо ангстрема ифода шудааст:  
 $1\text{Å} = 10^{-10}\text{м}$ .

Азбаски молекулаҳо ҳамеша дар ҳаракат ва байни худ дар таъсири мутақобилаанд, онҳо дорой энергияи кинетикӣ ва энергияи потенциалӣ мебошанд. Энергияи пурраи система аз ҷамъи энергияи кинетикӣю ҳаракати ҳароратӣ (хаотикӣ) молекулаҳо ва энергияи потенциалии таъсири мутақобилашон иборат аст. Қувваҳои ҷозибаи байни молекулаҳо кӯшиш ме-

кунанд, ки молекулаҳо ро алоқаманд нигоҳ доранд, аммо мавҷудияти энергияи кинетикӣ ба ин монев мешавад. Натиҷа ба таносуби



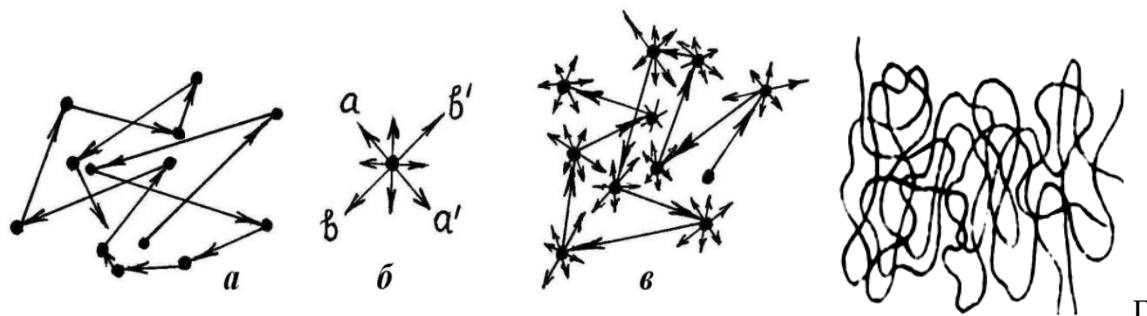
а)



б)

Расми 1.2

байни энергияи потенциалии ҷазбшавӣ ва энергияи кинетикии молекулаҳо вобаста аст. Ҳангоми муқоиса қимати мутлақи  $E_{\text{п}}$ -ро гирифтани лозим аст, чунки  $E_{\text{п}}$  -ҳамеша манфӣю  $E_{\text{к}}$ -мусбат мебошад. Агар  $E_{\text{к}}$  аз  $E_{\text{п}}$  ниҳоят калон бошад, молекулаҳо ҳамдигарро нигоҳ дошта наметавонанд ва модда ҳамаи ҳаҷми зарфро ишғол менамояд. Ин ҳолати агрегатии моддаро ҳолати газӣ меноманд. Мафҳуми газ (франс.gaz)-ро ба сифати истилоҳ ба илм химикӣ голландӣ Я.Б.Гелмонт дохил кардааст. Молекулаҳои газ аз як бархӯрд то бархӯрди дигар озодона ҳаракат мекунанд (расми 1.3 а). Агар  $E_{\text{к}}$  назар ба  $E_{\text{п}}$  ниҳоят кам бошад, атомҳо озодона ҳаракат карда наметавонанду танҳо дар гиреҳҳои панҷараи кристалӣ дар самтҳои гуногун бо амплитудаҳои нобаробар мелапанд (1.3 б). Ин ҳолати агрегатиро ҷисми саҳт меноманд. Ҷисми саҳт шакл ва андозаи муайян дорад. Агар  $E_{\text{к}}$  ва  $E_{\text{п}}$  тақрибан баробар бошанд, молекулаҳо наздик ҷойгиранд, вале дар ҳолати мувозинатӣ (муқимӣ) лаппишҳои зиёд карда баъд аз як ҳолати мувозинатӣ ба ҳолати мувозинатии дигар ҷаҳида мегузаранд. Ин ҳолати агрегатиро моеъ меноманд ва нишонаи берунии он ҷоришавӣ аст. Моеъ шакли зарфро мегирад, вале ҳаҷми муайян дорад. Азбаски молекулаҳои моеъ наздик ҷойгир шудаанд, масири ҳаракаташон ниҳоят мураккаб аст (расми 1.3 г). Дар расми 1.3 масирҳои ҳаракати молекулаҳои газ (а), ҷисми саҳт (б) ва моеъ (в, г) оварда шудаанд.



Расми 1.3

Агар андозаи молекулаҳо ва қувваи қозибайи ҳамдигариашонро ба эътибор нагирем, газро гази идеалӣ меноманд. Дар температураҳои баланд ва фишорҳои паст хосиятҳои физикавии гази реалӣ (воқеъӣ) ба гази идеалӣ наздик аст.

### §1.3 Мафҳумҳои асосии назарияи эҳтимолият

Ҳодисаҳо аксар вақт ногаҳон рӯй медиҳанд, ки натиҷаашон ба вазъият вобаста аст, аз ин рӯ, тасодуфӣ мебошанд. На ҳамеша мо сабабҳои, ки ин ё он ҳодисаро ба амал меоваранд, муайян карда метавонем. Ҳамин аст, ки барои мо ин ҳодисаҳо тасодуфӣ менамоянд, агарчи дар асл онҳо сабабҳои реалӣ баамаловаранда доранд. Воқеаҳои тасодуфӣ чун ба вучудоии ин ё он аломат фаҳмида мешавад, ки он дар таркиби худ хосиятҳо ё тавсифоти протсессро, инчунин, ҳаргуна ҳодисаҳои тасодуфиро дорад. Масалан, ҳодисаи тасодуфӣ бархӯрди молекулаҳо - воқеаи тасодуфӣ мешавад. Суръати муайян, ё ки самти муайяни ҳаракати молекулаҳо, шумораи молекулаҳо дар воҳиди ҳаҷм ва энергияи онҳо низ чун воқеаҳои тасодуфӣ омӯхта мешаванд. Дар ҳудуди зиёди фазою вақт ин воқеаҳо такрор мешаванд. Ин ё он молекулаи газ дар фосилаи начандон зиёди вақт миллиардҳо маротиба бо молекулаҳои дигар ва ба девори зарф бармехӯрад. Ин гуна воқеаҳо якҷинса мебошанд. Мушоҳидаҳои зиёд тасдиқ намудаанд, ки воқеаҳои якҷинса қоида ва қонуниятҳои ба худ хос доранд. Азбаски ин қонуниятҳо танҳо барои адади зиёди воқеаҳои якҷинса зоҳир мегарданд, номи қонуниятҳои статистикӣ гирифтаанд. Барои адади зиёди воқеаҳои якҷинса ва такроршаванда мафҳуми эҳтимолияти амалишавии онҳоро дохил кардан мумкин аст.

Бузургии тасодуфӣ гуфта тағйирёбандаеро мефаҳманд, ки он қиматҳои ададии худро вобаста ба вазъият қабул менамояд. Масалан, ягон молекулаи муайян дар ҷой ва ба суръати маълум соҳиб шуданашро воқеаи тасодуфӣ дарбар мегирад. Дар асл, суръати молекулаҳои газ ва ҷои он дар натиҷаи бархӯрд мунтазам тағйир ёфта меистад. Барои ҳар як молекула ингуна бархӯрдҳо тасодуфанд. Азбаски дар бархӯрдҳо суръат ва координатаҳои молекулаҳо ҳам тасодуфан тағйир меёбанд, онҳо бузургиҳои тасодуфӣ ҳисоб меёбанд.

Назарияи статистикӣ асосан ҳуди воқеаҳои тасодуфиро не, балки бузургиҳои тасодуфии ба онҳо мувофиқат мекардагиро меомӯзад. Барои пур-

ра тавсиф додани ин ё он бузургии тасодуфӣ дониستاني ҳамагуна қиматҳои имконпазири он ва эҳтимолияти соҳиб шудан ба ҳар яки ин қиматҳо зарур аст.

Агар аз  $N$ -такрорсозӣ  $N(A)$ -маротиба ҳодисаи  $(A)$  ба амал ояд, ҳангоми ба беохир майл кардани  $N$  нисбати онҳоро эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаи  $A$  меноманд:

$$P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N(A)}{N} \quad (1.6)$$

Агар имконпазирии ҳодисаҳо якхела бошад, эҳтимолияти бавучудоии онҳо баробар мешавад. Масалан, эҳтимолияти пайдошавии рақамҳои аз 1 то 6 ҳангоми партофтани шашхол  $P(1) = P(2) = \dots = P(6) = \frac{1}{6}$  аст.

Эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаро доништа адади бавучудоии онро ҳисоб карда метавонем. Агар эҳтимолияти мавҷудияти молекулаҳо дар ягон ҳаҷми элементарӣ дар дохили зарф ҳисоб карданӣ шавем, эҳтимолият ба ҳаҷм вобаста аст. Нисбати эҳтимолияти бавучудоии ҳодиса ба элементи ҳаҷм зичии эҳтимолият номида мешавад:

$$f(\Delta V_1) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N(A)}{N \Delta V_1} \quad (1.7)$$

Агар зичии эҳтимолият маълум бошад, адади молекулаҳои дар ҳаҷми  $dV$  бударо ҳисоб кардан мумкин аст:  $dN = Nf(x, y, z) dV$ .

Адади молекулаҳои дар ҳаҷми  $V_1$  буда:  $N(V_1) = N \int_{V_1} f(x, y, z) dx dy dz$  ва

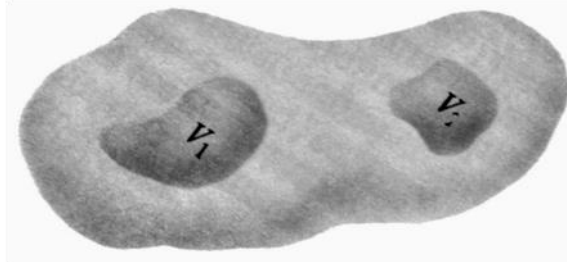
$$P(V_1) = \frac{N(V_1)}{N} = \int_{V_1} f(x, y, z) dx dy dz \quad (1.8)$$

Молекула дар дохили зарф аст ва эҳтимолияти мавҷудияти он берун аз зарф баробари сифр мебошад. Аз ин сабаб ҳудуди интегрониро аз  $-\infty$  то  $+\infty$  васеъ менамоем:

$$P(V \rightarrow \infty) = 1 = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) dx dy dz \quad (1.9)$$

Ин натиҷаро шарти нормиронидан меноманд. Шарти нормиронидан мавҷуд будани молекуларо дар ҳаҷми маълум нишон медиҳад, яъне  $\int_V f dV = 1$ . Агар зичии эҳтимолият дар ҳама ҷойи зарф баробар бошад, пас

$f = f_0$ ,  $f_0 V = 1$ ;  $f_0 = \frac{1}{V}$ . Дар ин маврид  $N(V_1) = N_0 \frac{1}{V} V_1 = N_0 \frac{V_1}{V}$ ,  $P(V_1) = V_1/V$ ,  $V$ - ҳаҷми зарф мебошад (расми 1.4).



Расми 1.4

Эҳтимолияти он, ки молекула дар ҳаҷми  $V_1$  ё  $V_2$  ҷойгир аст:

$$P(V_1 + V_2) = \frac{V_1 + V_2}{V} = \frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} \quad \text{ё} \quad P(V_1 + V_2) = P(V_1) + P(V_2) \quad (1.10)$$

ҳисоб меёбад.

Агар ҳодисаҳои  $A$  ва  $B$  аз ҳамдигар вобаста набоянд, он гоҳ эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаи  $A$  ё  $B$  ба ҷамъи эҳтимолиятҳои бавучудоии онҳо баробар аст (теоремаи ҷамъи эҳтимолиятҳо)  $P(A + B) = P(A) + P(B)$ . Мисол, эҳтимолияти пайдошавии рақамҳои 1 ё 3 ҳангоми партофтани шашхол

$$P(1 + 3) = P(1) + P(3) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$$

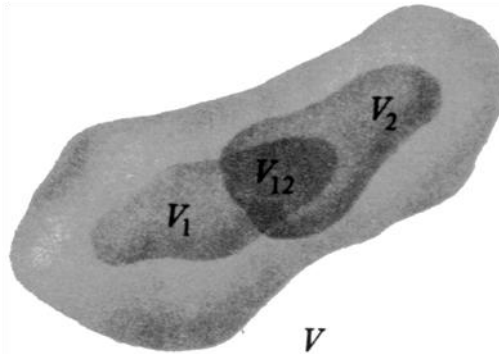
буданаш маълум мегардад.

Ё ки эҳтимолияти пайдошавии рақамҳои аз 1 то 6  $P(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) = 1$  аст.

Агар эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаҳо аз ҳамдигар вобаста набоянд, онҳоро ҳодисаҳои новобаста меноманд.

Агар ҳодисаҳо дар як вақт ба вуҷуд омаданашон мумкин бошад, пас

$P(V_1 + V_2) = \frac{V_1 + V_2 - V_{12}}{V} = \frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} - \frac{V_{12}}{V} = P(V_1) + P(V_2) - P(V_{12})$ . Ин ҷо  $V_{12}$  – эҳтимолияти дар як вақт бавучудоии ин ҳодисаҳо (ниг ба расми 1.5).



Расми 1.5

Агар ҳодисаҳои муоинашаванда  $A$  ва  $B$  бошанд,  $P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$ ;  $P(AB)$  – эҳтимолияти якҷоя бавучудоии ҳодисаҳои  $A$  ва  $B$  дониста мешавад.

Эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаи  $B$ -ро, ба шарте ки ҳодисаи  $A$  рӯй дода

бошад, эҳтимолияти шартӣ меноманд:  $P(B/A) = \frac{N(AB)}{N(A)} = \frac{P(AB)}{P(A)}$ , аз ин ҷо

$$P(AB) = P(A)P(B/A).$$

Барои ҳодисаҳои  $A$ ,  $B$  ва  $C$  бошад:  $P(ABC) = P(A)P(B/A)P(C/AB)$

Агар ин ҳодисаҳо новобаста бошанд,  $P(B/A) = P(B)$  ва  $P(C/AB) = P(C)$ , он гоҳ

$$P(ABC) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C) \quad (1.11)$$

буданаш маълум мегардад.

Эҳтимолияти бавучудоии ҳодисаҳои  $A$ ,  $B$  ва  $C$  ба ҳосили зарби эҳтимолияти бавучудоии ин ҳодисаҳо баробар аст (теоремаи зарби эҳтимолиятҳо). Мисол, эҳтимолияти паси ҳам пайдошавии ҳолҳои 1 ва 3-и шашхол

$$P(1 \text{ ва } 3) = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}.$$

Чамъи эҳтимолиятҳои ҳамаи ҳолатҳои имконпазир ҳамеша баробари як аст.  $\sum_{i=1}^N P_i = 1$  - шарти нормиронидани эҳтимолиятҳо мебошад.

Қимати миёнаи бузургиҳои дискретиро чунин муайян мекунам:

$$\langle x \rangle = \frac{\sum x_i}{N} = \frac{\sum x_i N_i}{N} = \sum x_j P_j \quad (1.12)$$

Инак, қимати миёнаи бузургии тасодуфӣ дискретӣ ба чамъи ҳосили зарби қиматҳои имконбудаи бузургии тасодуфӣ бар эҳтимолиятҳои мувофиқи зоҳиршавии онҳо баробар аст.

Барои ҳисоби  $\langle x \rangle$  аввал чадвали миқдор ва эҳтимолияти ҳар як бузургиро тартиб медиҳем. Барои мисол, чадвали зеринро дида мебароем:

$x_j$	1	2	3	4	5
$N_j$	15	20	35	27	3
$P_j$	0,15	0,2	0,35	0,27	0,03

Барои ёфтани қимати миёна ҳар як бузургиро ба эҳтимолияти пайдошавии он зарб мезанем:

$$\langle x \rangle = 1 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,27 + 5 \cdot 0,03 = 2,83.$$

Қимати миёна аз квадрати майлқунӣ аз қимати миёнаи бузургиро дисперсия меноманд:

$$D = \sigma^2 = \langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \langle [x^2 - 2x \langle x \rangle + \langle x \rangle^2] \rangle = \langle x^2 \rangle - 2 \langle x \rangle \langle x \rangle + \langle x \rangle^2$$

$$D = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 \quad (1.13)$$

Барои дисперсияро ҳисоб кардан қимати миёнаро аз квадрати бузургӣ меёбем. Барои ин квадрати ҳар як бузургиро ба эҳтимолияти зоҳиршавии он зарб зада, баъд онҳоро чамъ мекунем:

$$\langle x^2 \rangle = \sum x_j^2 P_j \quad (1.14)$$

Аз ин рӯ:

$$\langle x^2 \rangle = 1 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,35 + 16 \cdot 0,27 + 25 \cdot 0,03 = 0,15 + 0,8 + 3,15 + 4,32 + 0,75 = 9,17 \quad \text{мешавад.}$$

Дисперсияро ҳисоб менамоем:  $D = 9,17 - (2,83)^2 \approx 1,16$

Решаи квадратӣ аз дисперсияи бузургиҳои тасодуфиро майли стандартӣ, ё ки майли миёнаи квадратӣ ( $\sigma$ ) меноманд:  $\sigma = \sqrt{1,16} \approx 1,08$ .

Қимати бузургии тасодуфӣ асосан дар ҳудуди зерин меҳобад:  $\langle x \rangle - \sigma \leq x \leq \langle x \rangle + \sigma$ . Пас, барои мисоли муоинашуда  $1,75 \leq x \leq 3,91$ .

Агар бузургии тасодуфӣ  $x$  бефосила тағйир ёбад, он гоҳ қимати миёнаи онро бо ёрии интегронӣ ёфтан мумкин аст:  $\langle \varphi(x) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) f(x) dx$ .

Қимати миёнаи бузургӣ, қимати миёнаи квадрати бузургӣ ва дисперсияро барои бузургиҳои бефосила бо формулаҳои зерин муайян мекунам:

$$\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad \langle x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx \quad D = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \langle x \rangle)^2 f(x) dx.$$



Эҳтимолияти онро, ки бузургии  $x$  аз  $-\infty$  то ягон  $x_0$  қимат қабул мекунад, функсияи тақсимои зичии эҳтимолиятҳо меноманд.

$$P(-\infty < x < x_0) = F(x) = \int_{-\infty}^{x_0} f(x) dx. \quad (1.15)$$

Дар физика функсияи тақсимои зичии эҳтимолиятҳо танҳо тақсимои меноманд. Масалан, тақсимои Максвелл, тақсимои Болсман.

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}, \quad P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} dF(x) = F(x_2) - F(x_1).$$

Дар математика функсияи тақсимои зичии эҳтимолиятҳо ниҳоят зиёданд, аммо баъзе ҳодисаҳои физикаи молекулавиро бо тақсимои Гаусс шарҳ додан осонтар аст.

### § 1.4 Тақсимои Гаусс

Ягон нишон (нуқта) аз ибтидои системаи координати декартӣ ҳаракаташро сар мекунад ва эҳтимолияти ҷаҳиши он ба ҳама самтҳо якхела аст, яъне зичии эҳтимолият на ба координата, балки ба квадрати координата  $\varphi(x^2)$  вобаста аст. Муайян кардан лозим аст, ки баъд аз ҷаҳишҳои ниҳоят зиёд тақсимои координати нуқта чӣ гуна мешавад.

Азбаски ҳодисаҳои ҷаҳиши нуқта нисбати меҳварҳои  $OX$  ва  $OY$  аз ҳам новобастаанд, мувофиқи теоремаи зарби эҳтимолиятҳо эҳтимолияти мавҷудияти нуқта дар масоҳати  $dS$  баробар аст:

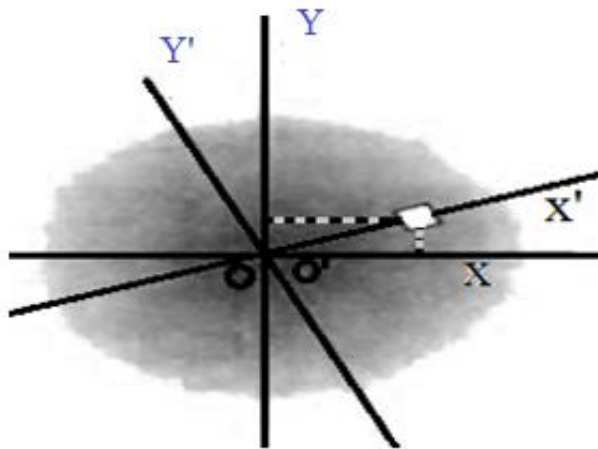
$$dP = \varphi(x^2)\varphi(y^2)dS \quad (1.16)$$

Системаи координатро чунон ҷарх мезанонем, ки меҳвари  $O X'$  аз масоҳати  $dS$  гузарад (расми 1.6). Дар ин системаи координатаҳо:

$$dP = \varphi(x'^2)dS. \quad (1.17)$$

Ин эҳтимолиятҳо ба ҳамдигар баробаранд:

$$\varphi(x^2)\varphi(y^2) = \varphi(x'^2) = \varphi(x^2 + y^2). \quad (1.18)$$



Расми 1.6

Барои ёфтани намуди ошкорои  $\varphi(x^2)$  ва  $\varphi(y^2)$  аввал муодилаи (1.18)-ро логарифмиронида баъд дифференциронем:

$$\ln \varphi(x^2) + \ln \varphi(y^2) = \ln \varphi(x^2 + y^2)$$

$$\frac{\varphi'(x^2)}{\varphi(x^2)} 2x dx + \frac{\varphi'(y^2)}{\varphi(y^2)} 2y dy = \frac{\varphi'(x^2 + y^2)}{\varphi(x^2 + y^2)} (2x dx + 2y dy)$$

$$\left[ \frac{\varphi'(x^2)}{\varphi(x^2)} - \frac{\varphi'(x^2 + y^2)}{\varphi(x^2 + y^2)} \right] 2x dx + \left[ \frac{\varphi'(y^2)}{\varphi(y^2)} - \frac{\varphi'(x^2 + y^2)}{\varphi(x^2 + y^2)} \right] 2y dy = 0.$$

Азбаски дифференциалҳо аз  $x$  ва  $y$  ба ҳамдигар новобастаанд, қавсҳо дар алоҳидагӣ баробари сифр мешаванд:

$$\frac{\varphi'(x^2)}{\varphi(x^2)} - \frac{\varphi'(x^2 + y^2)}{\varphi(x^2 + y^2)} = 0 \quad \frac{\varphi'(y^2)}{\varphi(y^2)} - \frac{\varphi'(x^2 + y^2)}{\varphi(x^2 + y^2)} = 0,$$

$$\frac{\varphi'(x^2)}{\varphi(x^2)} = \frac{\varphi'(y^2)}{\varphi(y^2)} = \pm \alpha \text{ ё ки } \frac{\varphi'(x^2)}{\varphi(x^2)} 2x dx = \pm \alpha 2x dx \quad (1.19)$$

Ин муодиларо интегронида чунин натиҷа мегирем:  $\ln \varphi(x^2) = \pm \alpha x^2 + const.$

$$\text{Барои меҳварҳои ОХ ва ОУ} \quad \varphi(x^2) = Ae^{\pm \alpha x^2}, \quad \varphi(y^2) = Ae^{\pm \alpha y^2}.$$

Аз ин ду ҳал функцияи дар дараҷа аломати «+» дошта шартӣ масъаларо қонёе намекунад, чунки ҳар қадаре ки аз ибтидои координатаҳо дур шавем, эҳтимолияти мавҷудияти нишон кам мешавад. Пас, як ҳал боқӣ мемонад:

$$\varphi(x^2) = Ae^{-\alpha x^2}, \quad \varphi(y^2) = Ae^{-\alpha y^2} \quad (1.20)$$

Ин навъ тақсимоти зичии эҳтимолиятҳо тақсимоти Гаусс ном гирифтааст.

Тақсимоти Гауссро нисбати тири ОХ аз назар мегузаронем. Максимуми ин эҳтимолият ба нуқтаи  $x=0$  мувофиқ меояд. Агар максимуми эҳтимолият ба нуқтаи  $x=\mu$  мувофиқ ояд,

$$f(x) = \varphi(x^2) = Be^{-\alpha(x-\mu)^2} \quad (1.21)$$

мешавад.

Барои ёфтани доимии  $B$  аз шартӣ нормиронидан истифода мекунем:

$$B \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha(x-\mu)^2} dx = 1.$$

Интегралҳои Пуассон  $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$  буданаширо ба назар гирифта, инте-

гралро ҳал мекунем. Барои ин тағйирёбандаи навро дохил менамоем:  $\sqrt{\alpha}(x-\mu) = \eta$ ,  $\sqrt{\alpha} dx = d\eta$ ,  $dx = d\eta/\sqrt{\alpha}$ .

$$B \int e^{-\eta^2} \frac{d\eta}{\sqrt{\alpha}} = 1 \quad \frac{B}{\sqrt{\alpha}} \int e^{-\eta^2} d\eta = 1 \quad B \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} = 1 \quad \text{ва} \quad B = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}$$

Барои ёфтани доимии  $\alpha$  қимати миёна ва дисперсия ( $\sigma^2$ )-ро ҳисоб мекунем:

$$\langle x \rangle = \int x f(x) dx = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \int x e^{-\alpha(x-\mu)^2} dx.$$

Ишоратҳои зеринро ворид месозем:  $\sqrt{\alpha}(x-\mu) = \eta$   $x = \mu + \frac{\eta}{\sqrt{\alpha}}$   $dx = \frac{d\eta}{\sqrt{\alpha}}$ .

Пас,

$$\langle x \rangle = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \int (\mu + \frac{\eta}{\sqrt{\alpha}}) e^{-\eta^2} \frac{d\eta}{\sqrt{\alpha}}. \quad \langle x \rangle = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \mu \int e^{-\eta^2} \frac{d\eta}{\sqrt{\alpha}} + \frac{1}{2\sqrt{\alpha\pi}} \int 2\eta e^{-\eta^2} d\eta.$$

$$\langle x \rangle = \mu - \frac{1}{2\sqrt{\alpha\pi}} e^{-\eta^2} I_{-\infty}^{\infty} = \mu$$

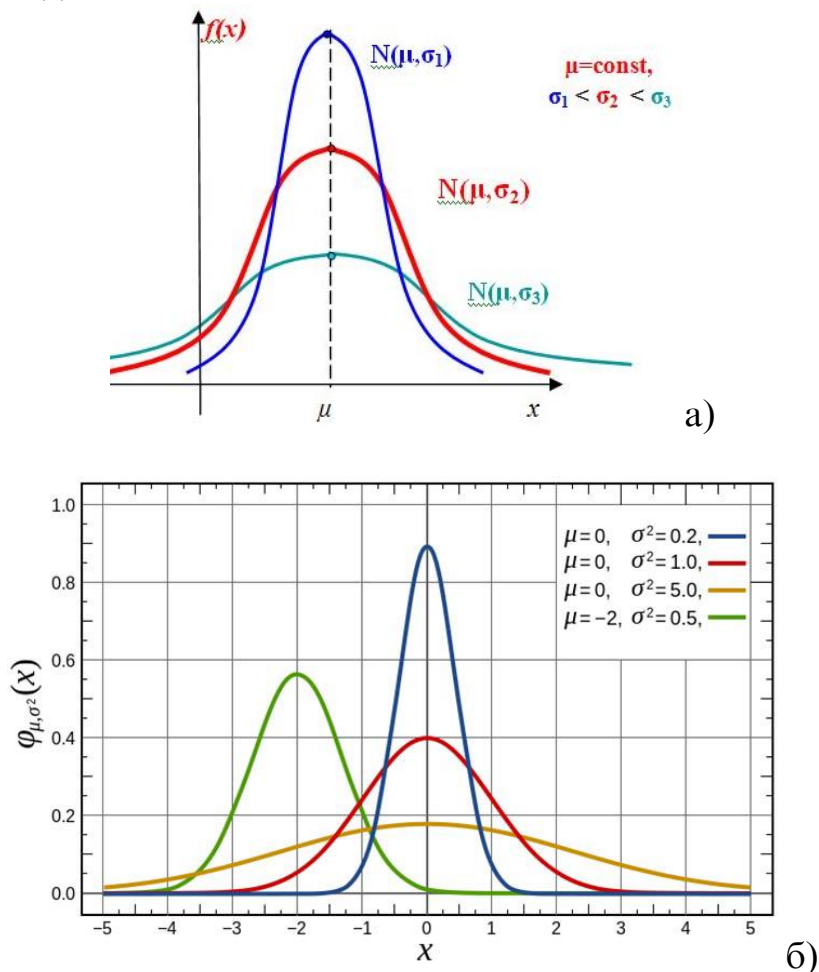
буданаш маълум мегардад. Аз ин рӯ:

$$\sigma^2 = \int (x - \mu)^2 \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} e^{-\alpha(x-\mu)^2} dx, \quad \sigma^2 = -\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \frac{\partial}{\partial \alpha} \int e^{-\alpha(x-\mu)^2} dx, \quad \sigma^2 = -\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \frac{\partial}{\partial \alpha} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}},$$

$\sigma^2 = \frac{1}{2\alpha}$  ва  $\alpha = \frac{1}{2\sigma^2}$  мебошанд. Тақсимооти зичии эҳтимолиятро дар намуди стандартӣ сабт карда мегардонем:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right). \quad (1.22)$$

Дар расми 1.7 а ин зичии эҳтимолият барои майли миёнаи квадрати гуногун ва дар расми 1.7 б барои қиматҳои гуногуни  $\mu$  ва  $\sigma^2$  тасвир ёфтааст. Аз расм хувайдост, ки ба ҳар андоза майли миёнаи квадратӣ ( $\sigma$ ) кам бошад, ҳамон қадар максимуми зичии эҳтимолият дар нуқтаи  $x = \mu$  баландтар мешавад.

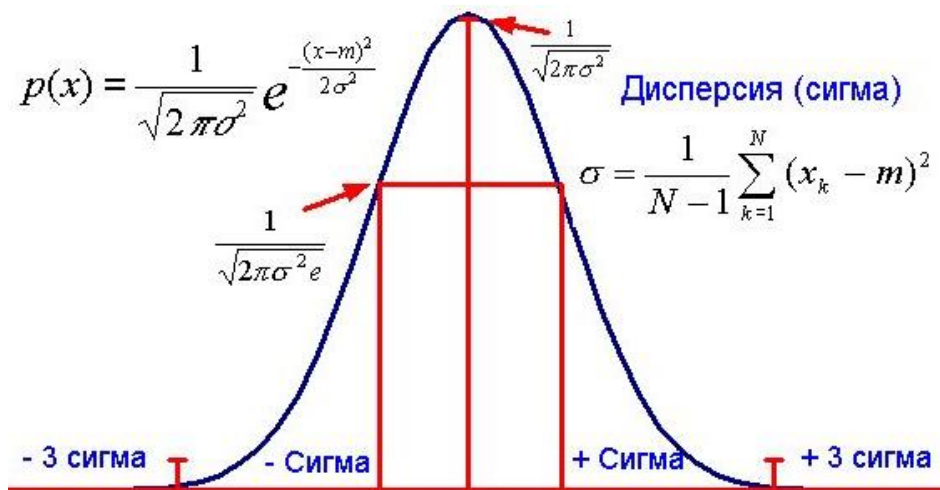


Расми 1.7

Функсияи тақсимооти эҳтимолиятҳо мувофиқи таъриф чунин намуд мегардад:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)dx. \quad (1.23)$$

Ин функция гауссӣ, ё ки қонуни тақсимои нормалӣ номида мешавад. Дар расми 1.8 зичии тақсимои нормалӣ тасвир ёфтааст.



Расми 1.8

Агар қимати миёна ва майли миёнаи квадратӣ маълум бошад, бузургии  $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$  ва  $\frac{dx}{\sigma} = dz$ -ро ҳисоб кардан мумкин аст. Он гоҳ

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz \quad (1.24)$$

мешавад.

Ин ифодаро функцияи тақсимои стандартии нормалӣ меноманд ва қиматҳои он ба намуди чадвал маълум аст.

## § 1.5 Ҳолатҳои макроскопӣ ва микроскопии система

Маҷмӯи якчанд объектҳои физикавии таҳқиқшавандаро, ки дар фазои маҳдуд ҷойгиранд, система меноманд. Ҳудуди система метавонад материалӣ бошад (масалан, девори зарф), ё ки тасаввурӣ, беҳаракат бошад ё дар ҳаракат, маҳдуд бошад, яъне на гармӣ мегираду на гармӣ медиҳад, ё ки кушод бошад. Инчунин, система бо хосиятҳои физикавӣю химиявӣю моддаҳои дар соҳаи фазои ишғолкардашон мавҷуд буда тавсиф меёбад.

Системаи содатарине, ки мо дар ибтидо ба омӯзиши он шурӯъ менамоем, гази идеалӣ мебошад. Газидеалӣ газест, ки молекулаҳои он ҳамчун нуқтаҳои материалӣ пиндошта мешаванду таъсири муттақобилаи байни онҳо ба эътибор гирифта намешавад.

Агар бо гузашти вақт ҳолати система тағйир наёбад, онро ҳолати статсионарӣ меноманд. Барои он ки система ба ҳолати мувозинатӣ ояд, шарт аст, ки маҳдуд бошад.

Ҳар як система баъди вақти муайян ба ҳолати мувозинатӣ меояд, яъне муддати вақте, ки фишор ва температура дар ҳама ҷойи система барқарор мешаванд. Суръати гузаришро ба суръати паҳншавии садо дар ҳаво  $\vartheta \approx 330 \text{ м/с}$  баробар қабул мекунам.

Агар андозаи зарф  $L=1 \text{ м}$  бошад, дар тӯли вақти  $\tau = \frac{L}{\vartheta} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  система ба ҳолати мувозинатӣ меояд. Ин мӯҳлат барои андозагириҳои одӣ ниҳоят кам, барои ҳодисаҳои молекулавӣ зиёд аст. Дар 1 сония  $10^9$  маротиба молекулаҳо дар шароити нормалӣ ба ҳам бармехӯранд. Дар давоми  $3 \cdot 10^{-3}$  сония онҳо аз миллион маротиба зиёдтар ба ҳам бармехӯранд.

Ҳолати газро, ки бо ҷой ва суръати ҳамаи молекулаҳои он тавсиф мешавад, ҳолати микроскопӣ меноманд. Ҳолати молекулаҳо дар система бо  $3N$  координата ва бо  $3N$  проексияҳои суръат ё импульс муайян карда мешавад. Андозаи як молекула  $\ell \approx 10^{-10} \text{ м}$  ва молекула дар фазо ҳаҷми  $V = \ell^3 \approx 10^{-30} \text{ м}^3$ -ро ишғол мекунад. Дар як  $\text{м}^3$  адади молекулаҳо дар шароити нормалӣ  $N = 2,7 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$  (адади Лошмидт) ва адади хонача (ячейка)-ҳо

$$N = \frac{1 \text{ м}^3}{10^{-30} \text{ м}^3} = 10^{30} \text{ мебошанд. Аз ин рӯ ба ҳар як молекула } \frac{N}{N_L} = \frac{10^{30}}{2,7 \cdot 10^{-5}} \approx 4 \cdot 10^4$$

хонача рост меояд. Яъне, дар газҳо аз 40 ҳазор хонача танҳо яктоаш банд аст. Гузариши молекула аз як хонача ба дигараш ҳолати микроскопии системаро тағйир медиҳад. Дар як вақт мавқеъ ва суръати молекулаҳоро саҳеҳ муайян кардан мумкин нест. Мувофиқи ғояи Планк, ғалатҳои андозагирии ҷой ва суръати молекулаҳо бо ҳам чунин вобастаанд:  $\Delta x \Delta y \Delta z \Delta \vartheta_x \Delta \vartheta_y \Delta \vartheta_z \geq h^3$ . Дар ин ҷо  $h$ -дойимии Планк аст.

Ҳолати газро, ки бо фишор ( $P$ ), ҳаҷм ( $V$ ) ва температурааш ( $T$ ) тавсиф меёбад, ҳолати макроскопӣ меноманд. Агар фишор ва температура дар ҳама ҷойи система якандоза бошанд, система дар ҳолати мувозинатӣ ҳисоб меёбад. Ҳолати макроскопии статсионарии газро, ки дар ҳаҷми  $V$ -и аз муҳити атроф маҳдуд шуда ҷойгир аст, ҳолати мувозинатӣ меноманд. Агар аз муҳити атроф маҳдуд нашуда бошад, ҳолати статсионарӣ буданаш мумкин, аммо дар мувозинатӣ не. Масалан, як қисми зарф дар як термостат бошад қисми дигараш дар термостати дигар.

Бузургии, ки ҳолати системаро тавсиф медиҳад, параметр (аз юнонӣ рағаметрон-андозагиранда)- и ҳолат меноманд. Параметрҳои, ки объектҳои физикавии системаро муайянсозанда, дохилӣ ва параметрҳои объектҳои физикавии берун аз системаро муайянсозанда, берунӣ ном гирифтаанд. Ҳамон як параметр вобаста ба шароит метавонад параметри берунӣ ё дохилӣ ҳисоб шавад.

## 1.6 Модели гази идеалӣ

Гази идеалӣ модели содатарини назариявии газ мебошад. Дар ин модел андоза ва таъсири мутақобилаи молекулаҳо ба эътибор гирифта намешавад. Бархӯрди молекулаҳо чандирӣ пиндошта мешавад. Модели гази идеалие, ки молекулаҳо яшро ҳамчун кураҳои чандирии диаметраш  $d$  та-



савур карда мешаваду ҳамтаъсироташонро танҳо ҳангоми бархӯрдҳои чандирӣ ба назар гирифтани мумкин аст, ба воқеият наздик ҳисоб мешавад..

Критерия ё аломатеро, ки газро идеалӣ ҳисобидан мумкин бошад, муайян менамоем. Азбаски дар гази идеалӣ масофаи байни молекулаҳо  $r$  ҳамон қадар аст, ки қувваи ҷозибаи байни онҳоро ба назар нагирифтани раво аст. Тавре дар параграфи 1.1 барраси намудем, қувваи таъсири мутақобилаи молекулаҳо бо афзудани масофаи байнашон ниҳоят тез кам мешаванд ва дар масофаи якчанд диаметри молекула ( $d$ ) онҳоро ба эътибор нагирифтани мумкин аст. Аз ин сабаб шартҳои идеалӣ будани газро дар намуди зерин ифода мекунем:

$$r \gg d. \quad (1.25)$$

Масофаи  $r$ -ро бо концентратсияи молекулаҳо ифода кардан мумкин аст:  $n = N/V$ , ин ҷо  $N$  – адади зарраҳо дар газ ва  $V$  – ҳаҷми он мебошад. Агар газ дар ҳолати мувозинатӣ бидуни майдони беруна бошад, таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки молекулаҳо мунтазам дар ҳаҷми  $V$  тақсим шудаанд ва дар тегаи куби дарозияш  $1 \text{ м}$   $\sqrt[3]{n}$  молекула ҷой мегирад. Аз ин ҷо масофаи миёнаи байни молекулаҳо

$$r = 1/\sqrt[3]{n} \quad (1.26)$$

мешавад.

Аз таносубҳои (1.25) ва (1.26) бармеояд, ки критерияи идеалӣ будани газро дар намуди зерин ифода кардан мумкин аст:

$$nd^3 \ll 1, \quad (1.27)$$

ин ҷо  $nd^3$  – параметри беченак аст.

Адади молекула дар газ  $N = mN_A/\mu$  буданаширо ба назар гирифта, концентратсияро ба воситаи зичии газ  $\rho = m/V$  ифода менамоем:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{V M} = \frac{\rho N_A}{M}, \quad (1.28)$$

Ифодаи (1.28) имкон медиҳад, ки шартҳои идеалӣ будани газ (1.27)-ро дар шакли ба он эквивалент сабт намоем:  $\rho N_A d^3 / M \ll 1$ .

## § 1.7. Эҳтимолияти макроҳолат

Макроҳолати ихтиёрӣ бо адади зиёди микроҳолатҳо амалӣ мегардад. Эҳтимолияти ҳамаи ҳолатҳои имконпазир якандоза аст, ки инро принсипи баробарэҳтимолиятӣ меноманд. Инчунин, мувофиқи теоремаи эргодикӣ қимати миёна аз вақт ва қимати миёна аз ансамбл ба ҳамдигар баробаранд:  $\langle x \rangle_t = \langle x \rangle_a$ . Вобаста ба гузориши масъала ё қимати миёна аз вақт, ё қимати миёна аз ансамблро истифода бурдан мумкин аст. Яъне, ҳар кадоме, ки барои муоинаи масъалаи додашуда осонтар бошад, истифода мешавад.

Нисбати адади микроҳолатҳои амалишуда  $\Gamma_a$  ба адади умумии ҳолатҳои имконпазир ( $\Gamma_0$ )-ро эҳтимолияти термодинамикии макроҳолат меноманд:

$$P(\alpha) = P_\alpha = \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_0}.$$

Адади ҳолатҳоро ҳисоб кардан имконпазир нест. Аз ин сабаб эҳтимолияти макроҳолатро бо методҳои гуногун ҳисоб мекунам.

Адади микроҳолатҳоро тақсимот аз рӯйи координатҳо ва тақсимот мувофиқи суръат муайян мекунам. Азбаски тақсимот мувофиқи суръат барои макроҳолати маълум ва микроҳолатҳои имконпазир якандозаанд, дар сурат ва маҳраҷ ихтисор мешаванд. Аз ин сабаб, эҳтимолияти макроҳолат гуфта эҳтимолияти ҷойгиршавӣ дар фазоро мефаҳмам.

Барои ҳисоб кардани эҳтимолият аз принципи комбинаторика истифода мекунем. Агар як предмету  $n$ -ҷой бошад, предметро ба  $n$ -тарз ҷойгир кардан мумкин аст. Мавриди дуто предмет, бо  $n(n-1)$  тарз ҷойгир кардан мумкин аст ва агар  $m$ -предмет бошад, бо  $n(n-1)\dots [n-(m-1)]$  тарз, яъне  $C_n^m = \frac{n!}{(n-m)!}$ . Масалан, агар 3 предмету 3 ҷой бошад, бо 6 тарз онҳоро

ҷойгир кардан мумкин аст: ABC, ACB, BAC, BCA, CAB, CBA. Агар се ҷой аст,  $n=3$  ва 2 предмет  $m=2$ , он гоҳ AB, A·B, BA, B·A, ·AB, ·BA.

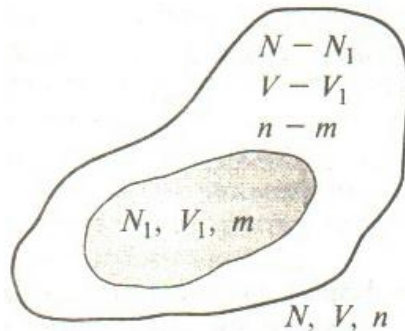
Агар предметҳо аз ҳамдигар фарқ накунам, он гоҳ аз иваз кардани ҷойи онҳо, ҳолат тағйир намеёбад. Масалан, агар се ҷою ду предмети якхела дода шуда бошад, онҳоро бо 3 тарз ҷойгир кардан мумкин аст:

$n=3, m=2$  AA· A·A AA· A·A ·AA ·AA, яъне  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$

Эҳтимолияти умумии термодинамикӣ ( $\Gamma_0$ ):

$$\Gamma_0 = \frac{N!}{(N-n)!}. \quad (1.29)$$

Дар ҳаҷми  $V$ -и газ  $n$ -то молекула ва  $N$  ячейка ва дар ҳаҷми  $V_1$   $m$ -то молекула ва  $N_1$  ячейка мавҷуданд. Адади ячейкаҳо назар ба адади молекулаҳо ниҳоят зиёд аст:  $N \gg n, N_1 \gg m$  (расми 1.9).



Расми 1.9

Эҳтимолияти термодинамикии микроҳолат ба ҳосили зарби эҳтимолиятҳои дар  $N_1$  ячейка ҷойгир кардани  $m$ -молекула ва дар  $N-N_1$  ячейка ҷойгиршавии  $n-m$  молекула баробар аст:

$$\gamma(V_1, m) = \frac{N_1!}{(N_1-m)!}; \quad \gamma(V - V_1, n - m) = \frac{(N-N_1)!}{[N-N_1-(n-m)]!}. \quad (1.30)$$

Адади микроҳолатҳое, ки бо онҳо макроҳолати муайян амалӣ мешавад, чун  $\Gamma(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \gamma(V_1, m) \gamma(V - V_1, n - m)$  сабт карда метавонем.

Барои эҳтимолияти макроҳолат ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$P(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \frac{N_1!(N - N_1)!(N - n)!}{(N_1 - m)! [N - N_1 - (n - m)]! N!}. \quad (1.31)$$

Ҳар як молекула дар фазо ҳаҷми  $V = \ell^3$ -ро ишғол мекунад. Агар  $\ell = 10^{-10} \text{ м}$  бошад, адади ячейкаҳо дар ҳаҷми  $V: N = \frac{V}{10^{-30} \text{ м}^3}$  ва

дар ҳаҷми  $V_1: N_1 = \frac{V_1}{10^{-30} \text{ м}^3}$  мешавад. Ин ададҳо ниҳоят калонанд ва барои

осон шудани ҳисоб аз формулаи Стирлинг истифода мебарем:  $n! \approx \left(\frac{n}{e}\right)^n$ .

Ин формула дар асоси баробарии зерин исбот карда мешавад:

$$n! = n(n-1) \cdots 1 \quad \ell n n! = \ell n n + \ell n(n-1) + \dots \quad \ell n n! = \int_1^n \ell n n \, dn$$

Ишоратҳои зеринро ворид месозем:

$$U = \ell n n, \quad dV = dn, \quad dU = \frac{dn}{n}, \quad V = n.$$

$$\ell n n! = n \ell n n /_1^n - \int_1^n n \frac{dn}{n}, \quad \ell n n! = n \ell n n - n + 1 \approx n(\ell n n - \ell n e), \quad \ell n n! = n \ell n \left(\frac{n}{e}\right) = \ell n \left(\frac{n}{e}\right)^n.$$

Аз формулаи Стирлинг истифода бурда факториалҳоро ба дараҷаҳо иваз менамоем:

$$P(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \frac{\left(\frac{N_1}{e}\right)^{N_1} \left(\frac{N - N_1}{e}\right)^{N - N_1} \left(\frac{N - n}{e}\right)^{N - n}}{\left(\frac{N_1 - m}{e}\right)^{N_1 - m} \left[\frac{N - N_1 - (n - m)}{e}\right]^{N - N_1 - (n - m)} \left(\frac{N}{e}\right)^N},$$

$$P(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \frac{N_1^m \cdot (N - N_1)^{n-m}}{N^n}.$$

$$\text{Аз ин ҷо} \quad P(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \left(\frac{N_1}{N}\right)^m \left(1 - \frac{N_1}{N}\right)^{n-m}. \quad (1.32)$$

$\frac{N_1}{N} = \frac{V_1}{V} = p$  - эҳтимолияти он аст, ки молекула дар ҳаҷми  $V_1$  ва

$1 - \frac{N_1}{N} = 1 - p = q$  эҳтимолияти он, ки молекула дар ҳаҷми  $V - V_1$  ҷойгир мебошад.

$p + q = 1$ , чунки молекула ё дар ҳаҷми  $V_1$  аст, ё ки дар ҳаҷми  $V - V_1$ :

$$P(V_1, m) = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m} \quad (1.33)$$

Ин тақсимоти эҳтимолиятҳоро тақсимоти биномалӣ меноманд.

Мавриди якчанд ҳодиса имконпазир будан:

$$P(n, m_1, m_2, \dots) = \frac{n!}{m_1! m_2! \dots} p_1^{m_1} p_2^{m_2} \dots \quad (1.34)$$

Агар қабул намоем, ки  $m_1=m$ ,  $m_2=n-m$  ва  $p_1 = p$ ,  $p_2 = q$ , формулаи (1.33)-ро ҳосил менамоем.

Ҳангоми ниҳоят кам ( $m \rightarrow 0$ ) ва ниҳоят зиёд ( $m \rightarrow \infty$ ) будани адади молекулаҳо дар ҳаҷми  $V_1$  эҳтимолияти  $P(V_1, m)$  ба сифр майл мекунад.  $P(V_1, m \rightarrow 0) \approx q^n \rightarrow 0$  ва  $P(V_1, m \rightarrow \infty) \approx p^n \rightarrow 0$ . Дар ягон қимати  $m=m_0$  эҳтимолияти  $P(V_1, m)$  қимати зиёдтаринро дорост.

Факториалҳоро ба дараҷаҳо иваз карда, ҳосил менамоем:

$$\frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{\left(\frac{n}{e}\right)^n}{\left(\frac{m}{e}\right)^m \left(\frac{n-m}{e}\right)^{n-m}} = \frac{n^m \cdot n^{n-m}}{m^m (n-m)^{n-m}} = \left(\frac{n}{m}\right)^m \frac{\left(1 - \frac{m}{n}\right)^m}{\left(1 - \frac{m}{n}\right)^n},$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{m}{n}\right)^n = e^{-m}. \quad P(V_1, m) = \left(\frac{ne}{m}\right)^m p^m q^{n-m} = \left(\frac{nep}{mq}\right)^m q^n, \quad p \ll 1, \quad q \approx 1.$$

Барои ёфтани ҳолати эҳтимолтарин, яъне максимуми функсия, аз ин муодила ҳосила гирифта, баробари сифр мекунем:

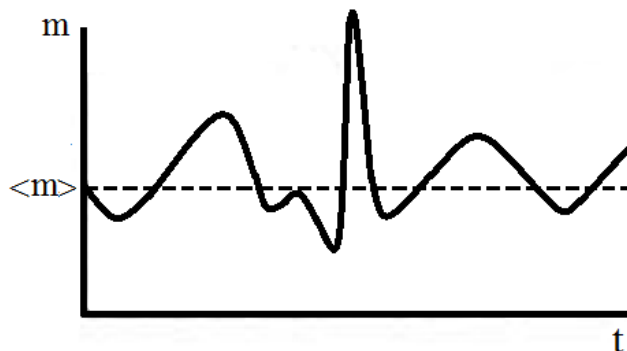
$$[\ln P(V, m)]' = \left[ m \ln \left( \frac{nep}{mq} \right) \right]', \quad \ln \frac{nep}{mq} + m \frac{\left( \frac{nep}{mq} \right)'}{\frac{nep}{mq}} = \ln \frac{nep}{mq} - \frac{m^2}{m^2} = 0, \quad \ln \frac{nep}{mq} = \ln e,$$

$$np = m_0 q, \quad m_0 = np = n \frac{V_1}{V}, \quad \frac{m_0}{V_1} = \frac{n}{V}.$$

Аз ин формула бармеояд, ки ҳолати макроскопии эҳтимолтарин ҳамонест, ки дар тамоми ҳаҷм тақсироти молекулаҳо мунтазам мебошад. Ин ҳолатро ҳолати мувозинатӣ меноманд. Ҳолати мувозинатии система ҳолати эҳтимолтарини он ба ҳисоб меравад.

## § 1.8 Флуктуатсия

Адади зарраҳо дар ҳаҷми муайян доимӣ намонда, дар ҳудуди на он қадар зиёд тағйир ёфта меистад. Вобастагии адади зарраҳо дар ҳаҷми  $V_1$  бо гузашти замон дар расми 1.10 тасвир ёфтааст.



Расми 1.10

Адади миёнаи зарраҳо дар ҳаҷми  $V_1$  аз рӯи таъриф ба

$$\langle m \rangle_t = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} m(t) dt \quad (1.35)$$

ҳангоми  $T \rightarrow \infty$  баробар аст. Вобастагии  $m$  ба  $t$  маълум нест, бинобар ин, қимати миёнаро ҳисоб кардан ғайри имкон аст. Теоремаи эргодикиро истифода бурда қимати миёна аз ансамблро ҳисоб мекунем.

$\frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m} = \sum_{m=1}^n (p+q)^n$  буданаширо ба назар гирифта қимати миёна аз ансамблро меёбем:

$$\langle m \rangle_t = \langle m \rangle_a = \sum_{m=0}^n m P(V_1, m) \quad (1.36)$$

$$\begin{aligned} \langle m \rangle &= \sum_{m=0}^n \frac{m \cdot n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m}, \quad \langle m \rangle = p \frac{\partial}{\partial p} \sum_{m=0}^n \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m}, \\ \langle m \rangle_t = \langle m \rangle_a &= p \frac{\partial}{\partial p} (p+q)^n = pn(p+q)^{n-1} = np. \end{aligned} \quad (1.37)$$

Аз ин формула хулоса гирифта метавонем, ки қимати миёнаи бузургӣ ба ҳолати эҳтимолгарин мувофиқ меояд. Минбаъд теоремаи эргодикиро дар назар дошта, дар қимати миёна индекс намегузорем.

Флуктуатсия майл аз қимати миёнаро нишон медиҳад. Дар физикаи молекулавӣ флуктуатсияи параметрҳои дохилро ҳангоми система дар мувозинатии термодинамикӣ будан дар назар доранд. Барои майли миёнаи квадратиро ёфтани қимати миёна аз квадрати бузургиро низ меёбем:

$$\langle m^2 \rangle = \sum_{m=0}^n \frac{m^2 n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m},$$

$$\langle m^2 \rangle = p \frac{\partial}{\partial p} p \frac{\partial}{\partial p} (p+q)^n = p \frac{\partial}{\partial p} [p \cdot n(p+q)^{n-1}],$$

$$\langle m^2 \rangle = p [n(p+q)^{n-1} + pn(n-1)(p+q)^{n-2}].$$

$p+q=1$  буданаширо ба назар гирифта, ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\langle m^2 \rangle = npq + n^2 p^2. \quad (1.38)$$

Дисперсияро меёбем:

$$\langle (\Delta m)^2 \rangle = \langle m^2 \rangle - (\langle m \rangle)^2 = npq + p^2 n^2 - p^2 n^2, \quad \langle (\Delta m)^2 \rangle = npq$$

$$\text{Майли миёнаи квадратӣ: } \sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle} = \sqrt{npq} \quad (1.39)$$

мебошад.

Қимати миёнаи бузургӣ ба адади молекулаҳо мутаносиби роста асту майли миёнаи квадратӣ ба решаи квадратӣ аз он.

Майли стандартӣ нисбӣ:

$$\frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} = \sqrt{\frac{q}{np}} = \sqrt{\frac{V - V_1}{nV_1}}, \quad \frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n} \left( \frac{V}{V_1} - 1 \right)}.$$



Агар  $V_1 \rightarrow V$  бузургии нисбии флукуатсия  $\frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} \rightarrow 0$  ва ҳангоми  $V_1=V$  ба сифр баробар ҳисобида метавонем, чунки адади молекулаҳо дар ҳаҷми муайян доимӣ аст. Агар ҳаҷм ниҳоят хурд бошад,  $\frac{V}{V_1} \gg 1$ :

$$\frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} = \frac{1}{\sqrt{np}} \quad , \quad \frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} = \frac{1}{\sqrt{\langle m \rangle}} \quad . \quad (1.40)$$

Агар адади зарраҳо кам бошад, масалан  $\langle m \rangle \approx 10$ ,  $\frac{\langle \Delta m \rangle}{\langle m \rangle} = \frac{1}{3}$ , яъне флукуатсия тақрибан 30%-ро ташкил медиҳад.

Агар ҳаҷмиро  $1 \text{ мм}^3$  гирем,  $V_1 = 1 \text{ мм}^3 = 10^{-9} \text{ м}^3$  дар шароити нормалӣ адади молекулаҳо дар ин ҳаҷм  $2,7 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{мм}^3}$  ва флукуатсия

$$\frac{\sqrt{\langle (\Delta m)^2 \rangle}}{\langle m \rangle} \approx \frac{1}{10^8} = 10^{-8} \approx 10^{-6}\% \text{ -ро ташкил медиҳад.}$$

Барои ҷисмҳои макроскопӣ флукуатсия ниҳоят кам аст ва қимати бузургихоро ба қимати миёнашон баробар қабул менамоем. Дар ҷисмҳои макроскопӣ флукуатсияро умуман ба назар нагирифта мумкин аст.

Бигузур  $F$  бузургии физикавие бошад, ки системаи  $N$  зарраро тавсиф диҳад ва он аз суммаи бузургихои ба зарраҳо дахл дошта иборат бошад.

$$F = \sum_{i=1}^N f_i \text{ ва қимати миёнаи он } \langle F \rangle = \sum_{i=1}^N \langle f_i \rangle \text{ мешавад.}$$

Қимати миёна гуфта миёна нисбат ба вақт ё миёна аз ансамблро мефаҳмем. Азбаски эҳтимолияти ҳамаи зарраҳо дар система якандоза аст, қимати миёна баробари  $\langle F \rangle = n \langle f \rangle$  қабул карда метавонем. Бузургии майли миёнаи квадрати ҳисоб мекунем:

$$\langle (\Delta F)^2 \rangle = \sum_{i=1}^n \langle (\Delta f_i)^2 \rangle = \sum_{i=1}^n \langle (\Delta f_i)^2 \rangle + \sum_{i \neq j} \langle \Delta f_i \Delta f_j \rangle \quad .$$

Аз сабаби он ки бузургихои  $f_i$  ва  $f_j$  аз ҳамдигар вобаста нестанд, қимати миёнаи ҳосили зарби онҳо  $\sum_{i \neq j} \langle f_i f_j \rangle$  баробари сифр аст. Аз ин рӯ:

$$\begin{aligned} \langle (\Delta F)^2 \rangle &= \langle F^2 \rangle - \langle F \rangle^2, \\ \langle (\Delta F)^2 \rangle &= n \langle (\Delta f)^2 \rangle, \end{aligned}$$

$$\frac{\sqrt{\langle (\Delta F)^2 \rangle}}{\langle F \rangle} \approx \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\sqrt{\langle (\Delta f)^2 \rangle}}{\langle f \rangle}.$$

Майли миёнаи нисбие, ки параметри микроҳолатро муайян мекунад, ба решаи квадратӣ аз адади зарраҳо мутаносиби чаппа аст. Барои ҷисмҳои макроскопӣ ин майлро ба назар нагирифта, қимати миёнаи бузургихоро баробар қабул намудан мумкин аст.

### § 1.9 Тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръаташон (тақсимои Максвелл)

Дар газ молекулаҳо дар натиҷаи ҳаракати ҳароратӣ (бетартибона) ҳамеша бо ҳамдигар бармехӯранд ва ин боиси тағйироти бефосилаи самт ва бузургии суръати онҳо мегардад. Дар натиҷа адади молекулаҳои, ки суръаташон дар ягон ҳудуд меҳобад, тағйир намеёбад. Агар газ аз ду намунаи молекулаҳо иборат бошад, он гоҳ суръати нисбии онҳо ( $\vec{g}_1 - \vec{g}_2$ ) мебошад суръати маркази массаашон:

$$\vec{g}_m = \frac{m_1 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_2}{m_1 + m_2}$$

ҳисоб меёбад.

Азбаски суръати нисбӣ ва суръати маркази массаҳо ба ҳамдигар вобаста нестанд, қимати миёнаи ҳосили зарби скалярии онҳо барои чуфти ихтиёрии молекулаҳо баробари сифр, яъне  $\langle \vec{g}_m (\vec{g}_1 - \vec{g}_2) \rangle = 0$  аст. Аз ин рӯ:

$$\begin{aligned} & \left\langle \left[ \frac{(m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2)}{m_1 + m_2} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \right] \right\rangle = 0 \\ & \langle m_1 \vec{v}_1^2 - m_2 \vec{v}_1 \vec{v}_2 + m_1 \vec{v}_2 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2^2 \rangle = 0, \\ & \left\langle \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} \right\rangle - \frac{(m_2 - m_1) \langle \vec{v}_2 \vec{v}_1 \rangle}{2} + \left\langle \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} \right\rangle = 0 \text{ мешавад.} \end{aligned}$$

Аз сабаби он ки ҳаракати молекулаҳо ба ҳамдигар вобаста нестанд, қимати миёнаи ҳосила зарби скалярии суръатҳои чуфти ихтиёрии молекулаҳо баробари сифр аст  $\langle \vec{v}_2 \vec{v}_1 \rangle = 0$ . Яъне,

$$\left\langle \frac{m_1 \mathcal{G}_1^2}{2} \right\rangle = \left\langle \frac{m_2 \mathcal{G}_2^2}{2} \right\rangle. \quad (1.41)$$

Қимати миёнаи энергияи кинетикӣ бузургии доимӣ аст. Агар ду газ бо деворе аз ҳамдигар ҷудо бошанд, дар натиҷаи ба девор бархӯрдан энергия медиҳанд, ё ки энергия мегиранд. Дар натиҷа баъд аз вақти муайян энергияи миёнаи молекулаҳои газ ва энергияи миёнаи молекулаҳои девор баробар мешаванд.

Системаи молекулаҳои, ки имконияти мубодилаи энергия доранд, ба ҳолате майл мекунанд, ки дар он энергияи кинетикии миёнаи молекулаҳои навъҳои гуногун ва энергияи кинетикии миёнаи молекулаҳо дар ҳама қисмҳои фазои система ба ҳам баробаранд. Ин ҳолати системаро мувозинатии термодинамикӣ меноманд ва бузургии физикавии қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо ро тавсифдиҳанда температура (аз юнонии ҳолати мӯътадил, таносуби дуруст) мебошад. Барои он ки қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо доимӣ мемонад нагӯянд, мафҳуми температураро дохил кардаанд:

$$\left\langle \frac{m \mathcal{G}^2}{2} \right\rangle \approx T, \quad \left\langle \frac{m \mathcal{G}^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} kT. \quad (1.42)$$

Мувозинати термодинамикӣ дар натиҷаи адади ниҳоят зиёди бархӯрди молекулаҳо барқарор мешавад. Азбаски адади бахӯрди молекулаҳо ниҳоят зиёд аст, барои исботи тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръаташон тақсимои Гауссро истифода мекунем.

Дар натиҷаи ҳар як бархӯрд бузургии проексияи суръати молекулаҳо тасодуфан ба кадри  $\Delta\vartheta_x, \Delta\vartheta_y, \Delta\vartheta_z$  тағйир меёбад ва тағйироти ҳар як проексия аз дигараш вобаста нест. Ҳаракати молекулаҳоеро, ки дар ибтидои вақт суръаташон сифр мебошад, муҳокима менамоем. Баъди вақти тӯлоние, ки молекулаҳо ниҳоят зиёд ба ҳам бархӯрданд, проексияи суръатҳои онҳо ба:

$$\vartheta_x = \sum_{i=1}^n \Delta\vartheta_{xi}, \quad \vartheta_y = \sum_{i=1}^n \Delta\vartheta_{yi}, \quad \vartheta_z = \sum_{i=1}^n \Delta\vartheta_{zi} \text{ баробар мешавад.}$$

Саволе ба миён меояд, ки проексияи суръати ин молекулаҳо мувофиқи кадом қонун тақсим шудаанд? Ҳар як проексия ҳамчун адади ниҳоят зиёди бузургиҳои тасодуфӣ ба ҳисоб меравад, ки шартҳои амалишавии тақсимои Гауссро қонеъ мекунанд. Мувофиқи формулаи (1.20) проексияҳои суръат чунин тақсим шудаанд:

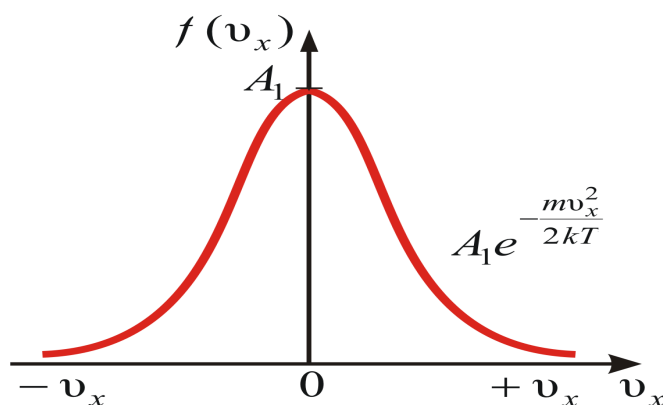
$$f(\vartheta_x) = \varphi(\vartheta_x^2) = Ae^{-\alpha\vartheta_x^2}, \quad f(\vartheta_y) = \varphi(\vartheta_y^2) = Ae^{-\alpha\vartheta_y^2}, \quad f(\vartheta_z) = \varphi(\vartheta_z^2) = Ae^{-\alpha\vartheta_z^2}, \quad (1.43)$$

ин ҷо доимиҳои  $A$  ва  $\alpha$  барои ҳар се проексияҳо якхела аст, чунки меҳварҳои координатӣ эквивалентанду бузургиҳои тасодуфии  $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$  нобастаанд. Дар расм тақсимот аз рӯи меҳвари  $X$  тасвир ёфтааст.

Эҳтимолияти он, ки проексияи суръати молекула дар тире  $OX$  дар ҳудуди  $\Delta\vartheta_x, \vartheta_x + d\vartheta_x$  ҷой дорад (расми 1.11):

$$dP(\vartheta_x) = \varphi(\vartheta_x^2) d\vartheta_x = Ae^{-\alpha\vartheta_x^2} d\vartheta_x. \quad (1.44)$$

мебошад. Айнан чунин формулаҳо барои дигар проексияҳои суръат ҳам дурустанд.



Расми 1.11

Эҳтимолияти он, ки суръати молекула дар ҳудуди суръатҳои  $\vartheta_x, \vartheta_x + d\vartheta_x; \vartheta_y, \vartheta_y + d\vartheta_y; \vartheta_z, \vartheta_z + d\vartheta_z;$  ҷойгир аст, мувофиқи формулаи теоремаи зарби эҳтимолиятҳо дар намуди зерин ифода мешавад:

$$dP(\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z) = A^3 e^{-\alpha(\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2)} d\vartheta_x d\vartheta_y d\vartheta_z. \quad (1.45)$$

Барои муайян кардани доимии  $A$  аз шarti нормиронидан истифода мебарем.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} A e^{-\alpha x^2} dx = 1 \quad \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\pi/\alpha} \quad \text{буданаширо ба назар гирифта, бузургии}$$

зеринро меёбем:  $A \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} = 1$ ,  $A = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}$ .

Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳо ҳисоб менамоем:

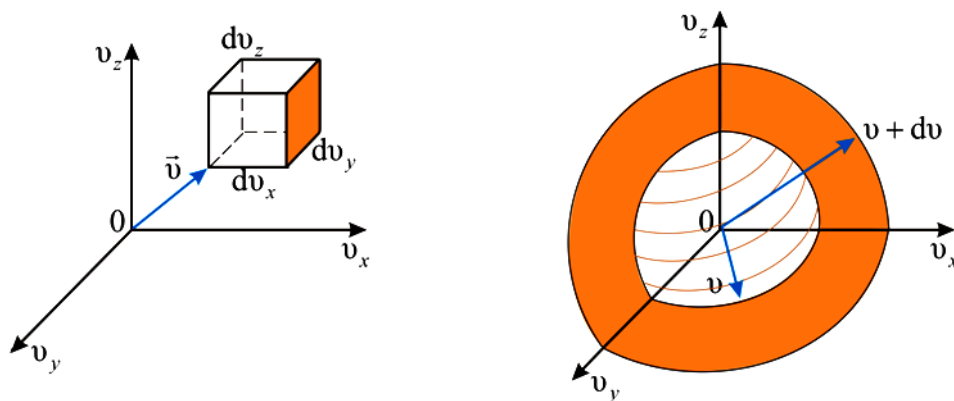
$$\langle \frac{m\vartheta^2}{2} \rangle = \langle \frac{m}{2} (\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2) \rangle = \frac{m}{2} \left( \frac{\alpha}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \iiint (\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2) e^{-\alpha(\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2)} d\vartheta_x d\vartheta_y d\vartheta_z.$$

$$\langle \frac{m\vartheta^2}{2} \rangle = -\frac{3m}{2} \left( \frac{\alpha}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{\partial}{\partial \alpha} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} = \frac{3m}{2} \frac{1}{2\alpha} = \frac{3m}{4\alpha} = \frac{3}{2} kT. \quad \text{Аз ин ҷо } \alpha = \frac{m}{2kT}.$$

$$dP(\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m}{2kT}(\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2)} d\vartheta_x d\vartheta_y d\vartheta_z. \quad (1.46)$$

Тақсимоти суръатҳо изотропӣ, яъне ба ҳама самтҳо якандоза мебошад. Аз ин сабаб, аз тақсимоти проексияи суръатҳо ба тақсимоти модули суръатҳо мегузарем (расми 1.12). Барои ин аз системаи координатаи декартӣ ба системаи координатаи сферӣ дар фазои суръатҳо (ё ки импульсҳо) гузаштан лозим аст ва (1.46)-ро нисбати қабати сферии рафсиаш  $d\vartheta$ , ки радиусаш  $\vartheta = \sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2}$  мебошад, меинтегронем:

$$d\vartheta_x d\vartheta_y d\vartheta_z = \vartheta^2 4\pi d\vartheta. \quad (1.47)$$



Расми 1.12

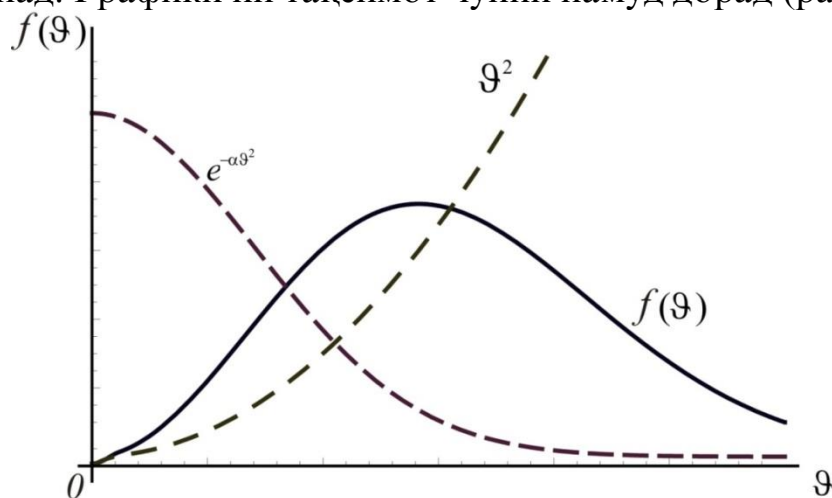
Барои эҳтимолияти ҷойгирии модули суръати молекулаҳо дар ҳудуди  $\vartheta, \vartheta + d\vartheta$  ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$dP(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2 d\vartheta. \quad (1.48)$$

Функсияи  $f(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2$  -ро функсияи тақсимоти

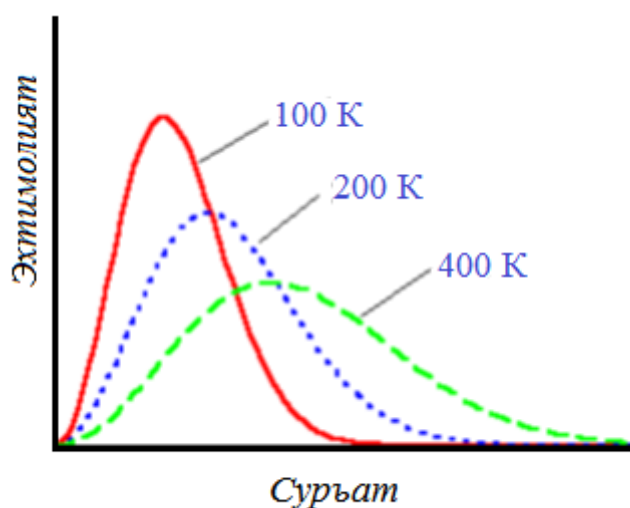
молекулаҳо мувофиқи суръаташон, ё худ тақсимоти Максвелл меноманд.

Ин формула зичии эҳтимолияти онро, ки модули суръати молекула  $\vartheta$  аст, муайян мекунад. Графики ин тақсимот чунин намуд дорад (расми 1.13):



Расми 1.13

Функсияи  $F(v)$  дупараметра мебошад: массаи молекулаҳо ва температураи газ. Аз формулаи (1.48) бармеояд, ки бо баландшавии температура максимуми функсияи  $F(v)$  ба тарафи суръатҳои калон мекӯчаду баландии ин максимум дар ин ҳолат паст мешавад. Аз шарти нормиронидан масоҳати аз хати қачи  $F(v)$  поён ва меҳвари  $v$  баробари як мемонад. Ба тарзи графикӣ функсияи тақсимои Максвелл дар расми 1.14 барои оксиген дар температураҳои гуногун тасвир ёфтааст. Чи хеле ки аз расм намоён аст, бо баландшавии температура адади молекулаҳои дорои суръатҳои зиёд меафзояду адади молекулаҳои суръатҳои хурд дошта кам мегардад.

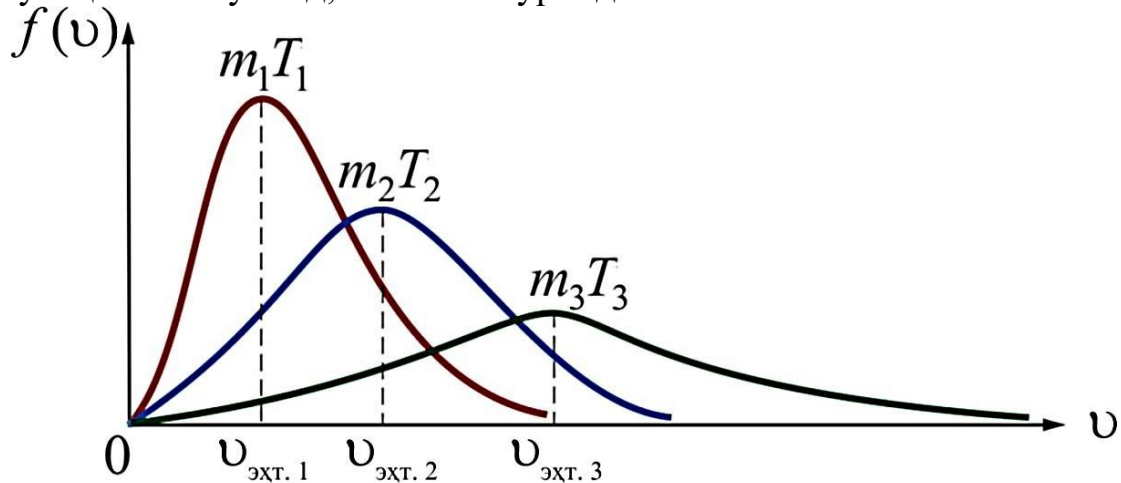


Расми 1.14

Аз қонуни Максвелл ва формулаи (1.48) бармеояд, ки дар ҳамон як температура барои гази молекулаҳои массаи зиёдтардошта ( $m_{0_2} > m_{0_1}$ ) максимуми функсияи  $F(v)$  ба самти суръатҳои хурдтар мекӯчаду баландтар мешавад. Дар расми 1.15 қачии функсияи тақсимои суръати молекулаҳо



барои се гази массаи молекулаҳошон фарқдошта ( $m_1 > m_2 > m_3$ ) дар температураҳои гуногун ( $T_3 > T_2 > T_1$ ) оварда шудааст. Дар температураҳои баробар дар гази вазнин молекулаҳои суръаташон хурд бисёртаранду молекулаҳои суръаташон калон назар ба газе, ки молекулаҳош сабуканд, кам вохӯранд.



Расми 1.15

Аз тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръаташон ба тақсимои молекулаҳо мутобиқи энергияи кинетикии онҳо гузаштан мумкин аст. Барои ин дар тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръаташон бузургҳои  $\vartheta$  ва  $d\vartheta$  – ро бо  $\varepsilon$  ва  $d\varepsilon$  ифода кардан кифоя аст:

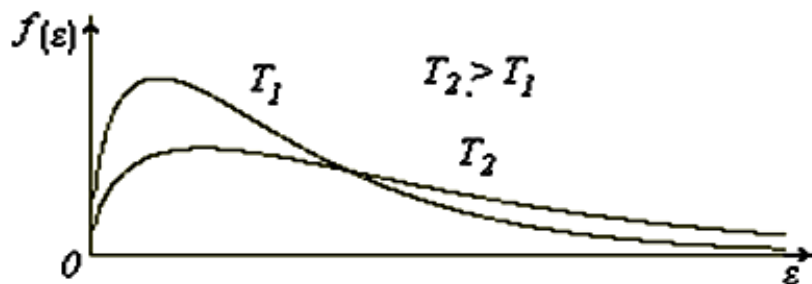
$$\varepsilon = \frac{m\vartheta^2}{2} \Rightarrow \vartheta = \left(\frac{2\varepsilon}{m}\right)^{\frac{1}{2}}; \quad d\vartheta = (2m\varepsilon)^{-\frac{1}{2}} d\varepsilon.$$

$$dn = n \frac{2}{\sqrt{\pi}(kT)^3} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon. \quad f(\varepsilon) = \frac{2}{kT\sqrt{\pi kT}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \sqrt{\varepsilon}.$$

Бузургии  $\frac{dn}{nd\varepsilon} = f(\varepsilon)$  - функцияи тақсимои Максвелл мувофиқи энергияи молекулаҳо мебошад. Ин функция имкон медиҳад, ки қимати миёнаи энергияи кинетикии молекула  $\langle \varepsilon_k \rangle$  -ро муайян намоем:

$$\langle \varepsilon_k \rangle = \int_0^{\infty} \varepsilon_k f(\varepsilon_k) d\varepsilon_k = \frac{3}{2} kT.$$

Дар расми 1.16 ин тақсимои барои ду температура тасвир шудааст.



Расми 1.16.

### § 1.10 Суръатҳои тавсифотии тақсимои Максвелл

Барои муайян кардани суръати эҳтимолтарин максимуми функсияи  $f(v)$ -ро дарёфтани лозим меояд:

$$\frac{df(v)}{dv} = 0 \left[ \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) v^2 \right]' = 0, \quad e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \left( \frac{2mv}{2kT} \right) v^2 + e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 2v = 0$$

$$\frac{mv}{kT} v + 2 = 0, \quad v^2 = \frac{2kT}{m}, \quad v_0 = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

Қимати миёнаи квадрати суръатро ҳисоб мекунем. Решаи квадратӣ аз қимати миёна аз квадрати суръатро суръати миёнаи квадратӣ меноманд ва бо  $v_{кв}$  ифода мекунанд.

Аз интегралҳои муайяни Пуассон истифода мекунем:

$$\int_0^{\infty} x e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{2\alpha}, \quad \int_0^{\infty} x^3 e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{2} \alpha^{-2},$$

$$\langle v^2 \rangle = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} v^4 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} dv = \frac{3kT}{m_0}.$$

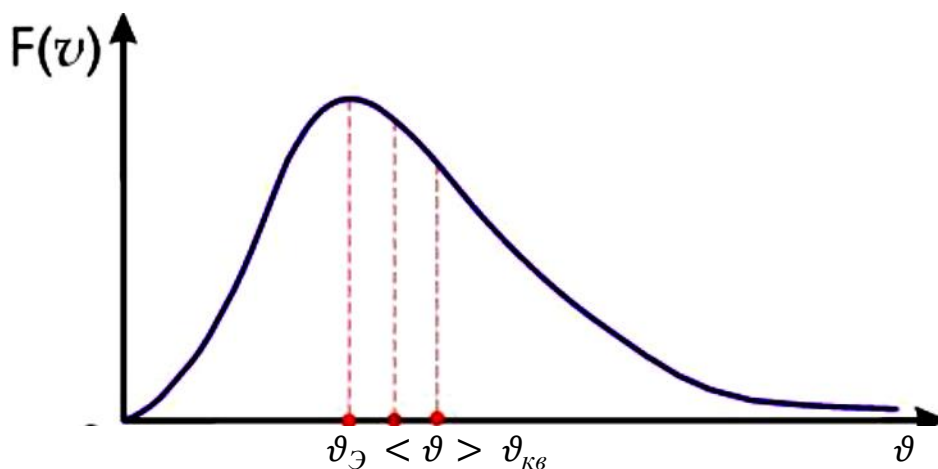
Ҳамин аст, ки суръати миёнаи квадратӣ  $v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$  буданаш маълум мегардад. Бо ҳамин усул суръати миёнаи арифметикиро муайян карда метавонем:

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} v^3 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}.$$

Вобастагии суръатҳои тавсифотии тақсимои Максвелл чунин мешавад:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{4}{\pi}} v_0 = 1,13 v_0, \quad \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_0 = 1,22 v_0.$$

Дар расми 1.17 маҷеи суръатҳои тавсифотӣ нишон дода шудааст.



Дар ҷадвали зер суръати миёнаи квадратии молекулаҳои баъзе газҳо дар температураи 300 К гирд оварда шудааст.

Газ	м/с	Газ	м/с
Гази туршии карбон	413	Буғи об	645
Оксиген	484	Гелий	1369
Нитроген	517	Гидроген	1937

### § 1.11 Тақсимоти Максвелл барои суръатҳои нисбӣ

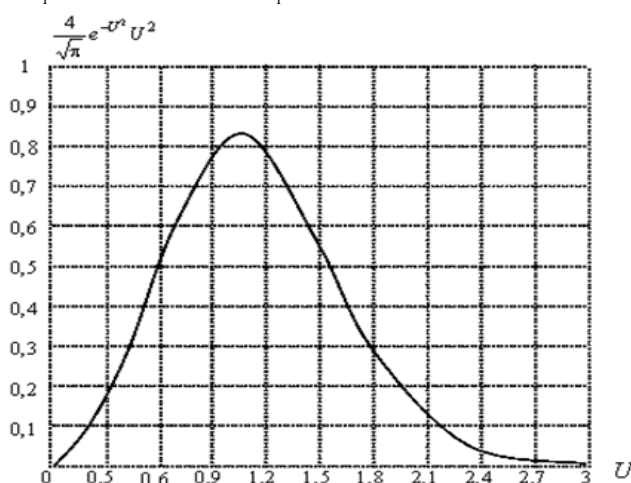
Тақсимоти Максвеллро дар намуди умумӣ пешниҳод намудан мумкин аст. Барои ин бузургии беченак суръати нисбиро дохил менамоем:

$u = \frac{g}{g_0}$ ,  $g_0^2 = \frac{2kT}{m}$  ва  $du = \frac{dg}{g_0}$  буданаширо ба назар мегирем (расми 1.18):

$$f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{g_0} e^{-u^2} u^2. \quad (1.49)$$

Зичии эҳтимолияти (1.49)-ро тақсимоти Максвелл барои суръатҳои нисбӣ меноманд ва ин функсия барои ҳамаи газҳо намуди ягона дорад:

$$N(g_1, g_2) = N \int_{g_1}^{g_2} f(g) dg = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{u_1}^{u_2} e^{-u^2} u^2 du. \quad (1.50)$$



Расми 1.18

Ин интеграл ба воситаи функсияҳои содда ифода карда намешавад. Онро барои қиматҳои гуногуни  $u$  бо методи ададӣ ҳисоб карда, ҷадвали мувофиқ тартиб додан мумкин аст, ки аз он эҳтимолияти дар ҳудуди дилхоҳ будани суръати молекулаҳо ёфта шавад. Дар ҷадвали 1.1 барои қиматҳои гуногуни суръати нисбӣ бузургии  $\frac{\Delta N}{N\Delta u}$  оварда шудааст.

Ҷадвали 1.1

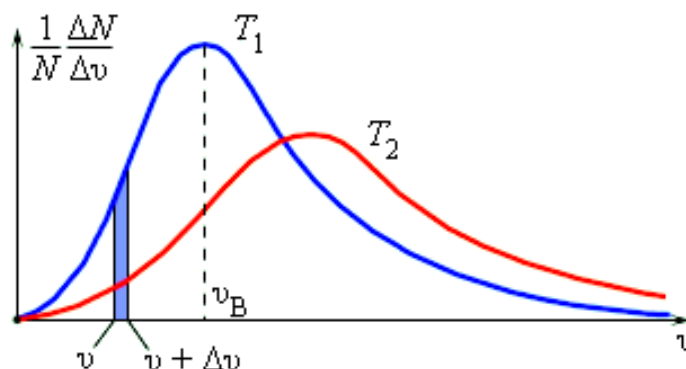
$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9	0,22
0,2	0,09	1,1	0,82	2,0	0,16
0,3	0,18	1,2	0,78	2,1	0,12

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		

Адади молекулаҳое, ки суръаташон аз ягон  $\vartheta_1$  то  $\vartheta_2$  мебошад, чунин аст:

$$N(\vartheta_1 / \vartheta_2, \vartheta_2 / \vartheta_3) = N[\varphi(\vartheta_2 / \vartheta_3) - \varphi(\vartheta_1 / \vartheta_3)] \quad (1.51)$$

Дар расми 1.19 он ба масоҳати штрихонидашуда мувофиқ меояд.



Расми 1.19

Дар аксар мавридҳо адади молекулаҳое, ки суръаташон назар ба суръати  $u$  калон ( $N_x$ )—ро доништан лозим мешавад. Дар ҷадвали 1.2 бузургии  $N_x/N$  барои қиматҳои гуногуни  $u$  оварда шудааст, ки  $N$ - адади умумии молекулаҳо мебошад.

Ҷадвали 1.2

$u$	$N_x/N$	$U$	$N_x/N$	$u$	$N_x/N$
0	1,000	0,6	0,868	1,25	0,374
0,2	0,994	0,7	0,806	1,5	0,213
0,4	0,957	0,8	0,734	2,0	0,046
0,5	0,918	1,0	0,5724	2,5	0,0067

Масалан, адади молекулаҳои суръаташон дар ҳудудҳои гуногунбуда, чунинад:

$$N(\vartheta, \infty) = 0,5724N, \quad N(0, \vartheta) = 0,4276N, \quad N(0,5u, 1,5\vartheta) = 0,7053N, \quad N(2\vartheta, \infty) = 0,046N.$$

Дар ҷадвали 1.3 ҳамчун намуна барои ҳаво дар  $T=300$  К ҳиссаи молекулаҳое, ки суръаташон дар интервалҳои зерин мувофиқ меоянд, оварда шудааст.

Ҷадвали 1.3.

Интервали суръатҳо	Ҳиссаи молекулаҳое, ки суръаташон дар интервалҳои муайян ҷойгиранд
$0 < \vartheta \leq 100$ м/с	0,6 %
$100 < \vartheta \leq 300$ м/с	12 %
$300 < \vartheta \leq 500$ м/с	30 %
$500 < \vartheta \leq 700$ м/с	29 %
$700 < \vartheta \leq 1000$ м/с	23 %

$\vartheta > 1000 \text{ м/с}$	5,4 %
--------------------------------	-------

Пас, аксарияти молекулаҳо бо суръати  $\vartheta$ , ё ба он наздик ҳаракат мекунанд ва адади молекулаҳои суръатшон назар ба суръати эҳтимолтарин ниҳоят хурд ( $\vartheta \ll \vartheta_0$ ), инчунин, аз ин суръат ниҳоят калон ( $\vartheta \gg \vartheta_0$ ) хеле каманд.

Суръати тавсифотӣ ба решаи квадрати аз температура мутаносиби роста ва ба массаи молиии молекула мутаносиби чаппа буданаширо таъкид мекунем. Суръати миёнаи квадратии молекулаҳои нитроген ( $\text{N}_2$ ) ва оксиген ( $\text{O}_2$ ) аз 400 то 500 м/с аст. Суръати молекулаи гидроген аз онҳо тақрибан 4 маротиба зиёд мебошад.

Тақсимот мувофиқи самтҳои ҳаракат дар ҳолати мувозинатӣ баробарэҳтимолиятанд. Қимати мутлақи суръатҳои молекулаҳо эҳтимолияти баробар надоранд, чунки барои суръатҳои гуногуни молекулаҳо функцияи зичии эҳтимолият  $f(\vartheta)$  фарқ дорад:

$$N_{\vartheta \geq \vartheta_0} = N \int_{\vartheta_0}^{\infty} f(\vartheta) d\vartheta. \quad (1.52)$$

Намунаеро ба истифода бурдани формулаи Максвелл меорем. Бигуздор, кадом микдор молекулаҳои гидроген дар температураи  $T = 300 \text{ К}$  бо суръатҳои дар фосилаи аз 1900 м/с то 1905 м/с воқеъбуда, ҳаракат мекардари бояд донист. Барои ин, пеш аз ҳама, қимати суръати эҳтимолитарини молекулаҳои гидрогенро дар  $T = 300 \text{ К}$  меёбем:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8,31 \cdot 300}{2 \cdot 10^{-3}}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1600 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Аз ин рӯ қимати суръати нисбии ба суръати гидроген  $\vartheta = 1900 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  дар температураи додашуда мувофиқ меомадагӣ:

$$u = \frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \frac{1900}{1600} \approx 1,2 \quad \text{мешавад.}$$

Қимати  $\Delta u$ -ро аз таносуби  $\Delta u = \frac{\Delta \vartheta}{\vartheta_0}$  муайян менамоем.

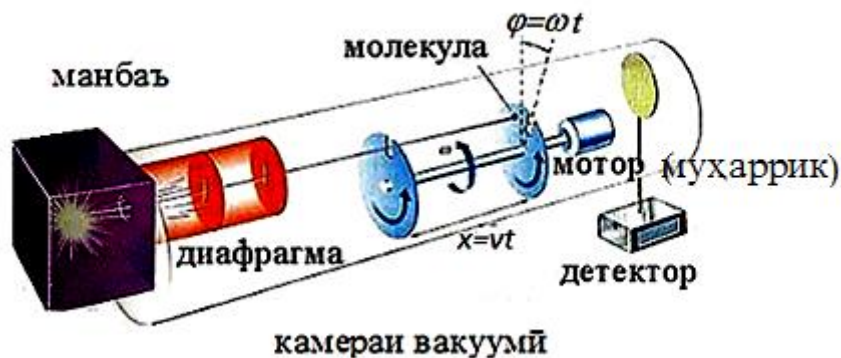
Азбаски  $\Delta \vartheta = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  аст, он гоҳ  $\Delta u = 0,0031$ . Қимати  $\frac{\Delta N}{N \Delta u}$ -ро, ки ба  $u = 1,2$  мувофиқ меояд, аз ҷадвали 1.2 меёбем:  $\frac{\Delta N}{N \Delta u} = 0,78$ . Пас, адади нисбии молекулаҳои, ки суръатҳои онҳо дар фосилаи аз 1900 м/с то 1905 м/с меҳабанд, ба:  $\frac{\Delta N}{N} = 0,78 \cdot 0,0031 = 2,5 \cdot 10^{-3}$  баробар аст, яъне 0,25 % ҳамаи  $N$  молекулаҳо ба суръатҳои байни фосилаи мазкур моликанд.

## § 1.12 Санҷиши таҷрибавии тақсимои Максвелл

Азбаски тақсимои Максвелл барои илми физика аҳамияти калон дорад, онро бо методҳои гуногун санҷидаанд. Шартӣ асосӣ он буд, ки ҳангоми гузаронидани таҷриба тақсимои молекулаҳо мувофиқи суръатшон тағйир наёбад. Ба сифати газ атомҳои нукраи дар натиҷаи тафсонидан хориҷшударо истифода намудаанд. Аввалин маротиба Штерн соли 1920 дар таҷриба ин тақсимоиро санҷид. Баъд Ламмерт соли 1929 бо асбоби дар расми 1.20 тасвирёфта саҳеҳтар дурустии тақсимои Максвеллро дар таҷриба тафтиш кард. Ин таҷрибаҳо имкон доданд, ки қонуни тақсимои

молекулаҳо мувофиқи суръаташон саҳеҳтар муайян карда шаванд. Нақшаи дастгоҳи вакуумӣ дар расми 1.20 тасвир шудааст. Дастаи молекулаҳои аз манбаъ бароянда аз тарқишҳо гузашта ба қабулкунак меафтанд. Дар байни манбаъ ва қабулкунак ду диск(курс)-и тарқишдор, ки дар меҳвари умумӣ маҳкам карда шудаанд, ҷой гирифтаанд. Ҳангоми беҳаракат будани дискҳо молекулаҳо аз тарқиши онҳо гузашта ба қабулкунак мерасанд. Андозаи тарқишро чунин интихоб менамоянд, ки нисбат ба дарозии дави озоди молекулаҳо  $\langle \ell \rangle$  хурд бошад. Дар фишори нормалӣ  $P=10^5$  Па,  $\langle \ell \rangle \approx 10^{-7}$  м. Дар фишори  $P=1$  Па  $\langle \ell \rangle \approx 10^{-2}$  м=1см ва дар фишори  $P=0,1$  Па  $\langle \ell \rangle \approx 10$  см аст.

Фишори буғҳои нукра бояд чунон хурд бошад, ки дарозии дави озоди молекулаҳо назар ба андозаи тарқиш калон бошад. Он гоҳ ҳангоми аз тарқиш баромадан молекулаҳо бо ҳам барнамехӯранд ва тақсимооти Максвелл вайрон намешавад. Дар таҷрибаҳо бо дастаи молекулаҳо диаметри тарқиш аз сад як ҳиссаи миллиметрро ташкил мекард. Барои дастаи параллелии атомҳо ҳосил кардан аз системаҳои тарқишҳо истифода мекунанд, ки онҳо коллиматор менаманд.



Расми 1.20

Баъд аз он молекулаҳо мувофиқи бузургии суръаташон ҷудо мекунанд, ки ин қисми асбобро селектор менаманд. Таҷрибаҳои гуногун танҳо бо принсипи кори селектор фарқ мекунанд. Чӣ хеле ки дар боло қайд кардем, дар таҷрибаи Ламмерт ба сифати селектор ду дискро мегуянд, ки бо суръатҳои гуногун чарх зада мекунанд (расми 1.21, а). Масофаи байни дискҳо  $\ell$  аст. Аз диски дуюм танҳо ҳамон молекулаҳо мегузаранд, ки суръаташон  $\vartheta = \frac{\ell}{\Delta t}$ ,  $\omega = \frac{\varphi}{\Delta t}$  ва  $\Delta t = \frac{\varphi}{\omega}$ ,  $\vartheta = \frac{\ell \omega}{\varphi} = \frac{\ell \omega}{2\pi N}$  аст.

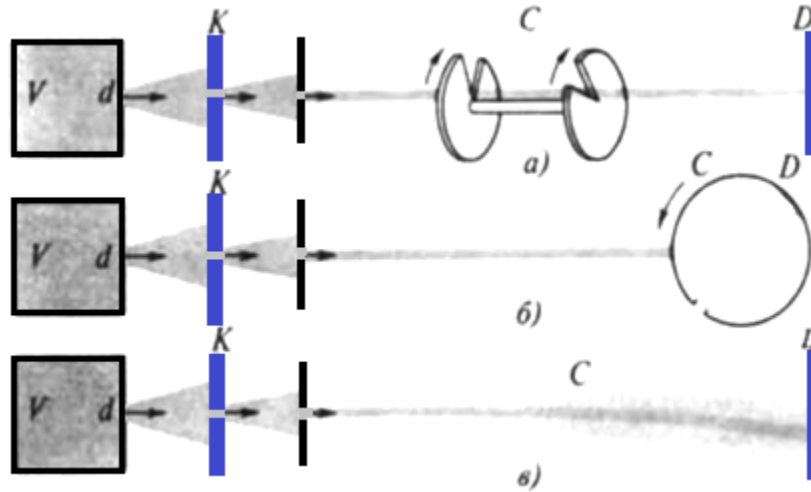
Аз рӯи ғафсии қабати атомҳои нукра дар экран адади молекулаҳои суръаташон  $\vartheta$ -бударо муайян мекунанд. Таҷрибаҳо дурустии тақсимооти Максвеллро нишон доданд.

Дар таҷрибаи дигар ба сифати селектору экран сфераи сӯрохидори чархзанандаро истифода бурданд (расми 1.21, б). Чӣ қадаре ки суръати молекулаи аз сӯроҳӣ гузаранда калон бошад, ҳамон қадар зудтар ба тарафи паси сфера рафта мерасад. Ғафсии қабати нукраро чен карда тақсимооти

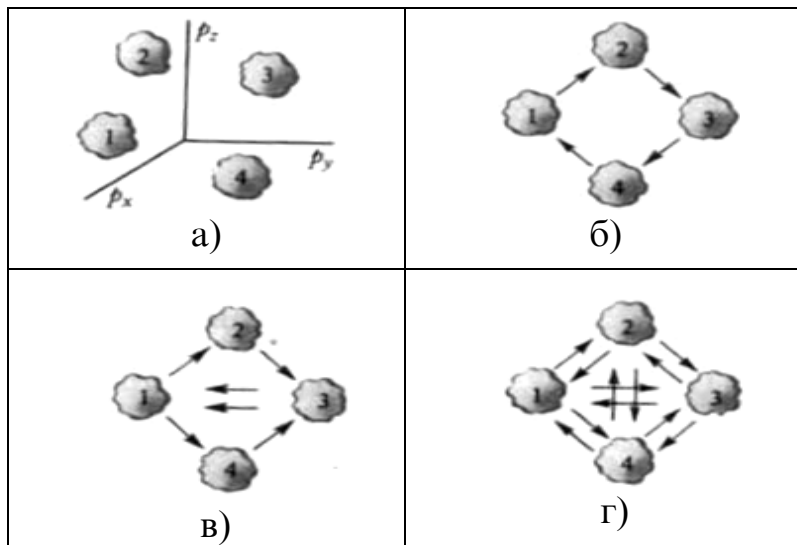


Максвеллро тафтиш намудан мумкин аст. Дар таҷрибаи дигар ба сифати селектор таъсири қувваи ҷозибаро истифода бурдаанд (1.21, в).

Тақсимоти Максвелл ҳамон вақт ҷой дорад, ки агар дар система мувозинатии термодинамикии пурра барқарор шудаву консентратсияи молекулаҳо дар ҳама ҷо баробар бошад.



Расми 1.21



Расми 1.22

Мувозинатии пурраи термодинамикӣ дар ҳамон маврид барқарор мешавад, агар дар байни тамоми қисмҳои ҳаҷм доду гирифтаи молекулаҳо ба амал ояд. Онро принципи мувозинатии пурра меноманд (расми 1.22, г).

### 1.13 Тавсифоти кинематикии ҳаракати молекулаҳо. Теъдоди бархӯрдҳо ва дарозии дави озоди молекулаҳо

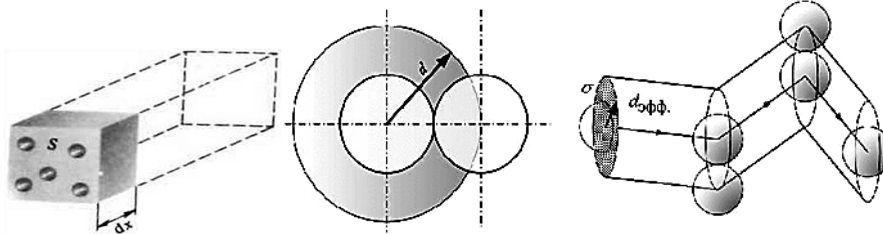
Дар шароити нормалӣ дар ҳаҷми  $1 \text{ м}^3$  –и гази ихтиёрӣ ба қадри  $2,67 \cdot 10^{25}$ -то молекула мавҷуд аст. Ҳангоми ҳаракати пешравиашон ин молекулаҳо бефосила ба ҳам бармехӯранд. Барои дарёфти адади бархӯрди моле-

кулаҳо дар воҳиди ҳаҷм фарз мекунем, ки ғайр аз молекулае, ки мо ҳаракатшро омӯхтанием, дигар молекулаҳо ороманд. Қимати суръати миёнаи арифметикии молекулаи ҳаракатмандро бо  $\langle \vartheta \rangle$  ишора мекунем. Фарз мекунем, ки молекулаҳои газ курачаҳои чандирии диаметрашон  $d$  буда, ба ҳам чандиран бармехӯранд, яъне дар ин маврид ҳамтаъсиrotи молекулаҳо дар масофа ба назар гирифта намешавад. Дар муддати вақти  $\Delta t$  молекулаи ҳаракатманд бо ҳамаи молекулаҳои бармехӯрад, ки марказҳои онҳо дар дохили цилиндри радиуси асосаш  $d$  (расми 1.23) ва дарозии  $\langle \vartheta \rangle \Delta t$  ҷойгиранд. Агар  $n$ -концентратсияи молекулаҳои газ бошад, он гоҳ адади миёнаи молекулаҳои бархӯранда дар воҳиди вақт:

$$\langle Z \rangle = \pi d^2 n \langle \vartheta \rangle \quad (1.53)$$

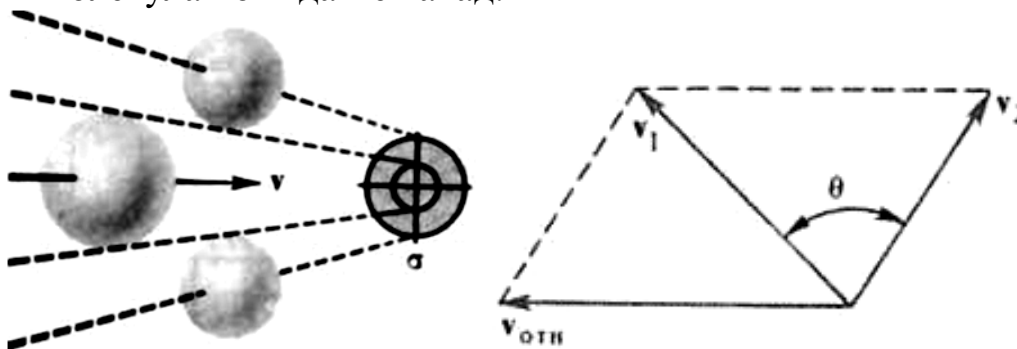
мешавад. Агар ҳаракати дигар молекулаҳоро нисбат ба якдигар ба эътибор гирем, он гоҳ ифодаи 1.53 чунин намуд мегирад:

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle \vartheta \rangle \quad (1.54)$$



Расми 1.23

Бузургии  $\sigma = \pi d^2$  масоҳати буриши арзии эффеkтивӣ ва  $d$ - диаметри эффеkтивии молекула номида мешавад.



Расми 1.24

Молекула аз як бархӯрд то бахӯрди дигар масофаеро озодона мепаймояд, ки онро дарозии роҳи дави озод меноманд. Қимати миёнаи дарозии дави озод  $\langle l \rangle$  ба нисбати роҳе, ки молекула дар тӯли як сония тай мекунад (он ададан ба  $\langle \vartheta \rangle$  баробар аст), бар теъдоди бархӯрдҳо дар ин муддат баробар мебошад (расми 1.24):

$$\langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle Z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n} \quad (1.55)$$

Яъне,  $\langle l \rangle$  ба концентратсияи молекулаҳо  $n$  мутаносиби чаппа аст. Аз тарафи дигар, мувофиқи (1.55) ҳангоми доимӣ мондани температураи газ  $\langle l \rangle$  ба фишор ( $P$ ) мутаносуби чаппа аст:

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2\pi}d^2P} \quad (1.56)$$

Барои гази додашуда ҳангоми  $T = \text{const}$  ва фишорҳои газ  $P_1$  ва  $P_2$  будан

$$\frac{\langle l_1 \rangle}{\langle l_2 \rangle} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad (1.57)$$

мешавад.

Маҳз бо дарозии дави озод ба масофаи байни молекулаҳо баҳо дода мешавад. Диаметри молекулаҳои хаворо тақрибан 0,3 нм қабул карда, дар шароити нормалӣ қимати миёнаи дарозии дави озоди молекулаҳои онро муайян менамоем:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d^2n} = \frac{1}{1,41 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-10} \text{ м})^2 \cdot 2,67 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 90 \text{ нм}.$$

Яъне,  $\langle l \rangle$  назар ба диаметри молекулаҳо тақрибан 300 маротиба зиёд мебошад. Ҳангоми  $P = 10^{-3}$  Па дар температураи  $T = 273$  К аз (1.5.6) дарозии миёнаи дави озод:

$$\langle l \rangle = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273}{1,41 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-20} \cdot 10^{-3}} = 9,7 \text{ м}$$

буданаш маълум мегардад

Адади молекулаҳои газро, ки дар воҳиди вақт ба воҳиди масоҳат меафтанд, муайян мекунем. Адади молекулаҳои дар воҳиди ҳаҷм буда, ки суръаташон дар ҳудуди  $(v_x, v_x + dv_x)$  ҷойгиранд,

$$dn_{v_x} = n\varphi(v_x)dv_x,$$

ҳисоб меёбад, ки ин ҷо  $dn_{v_x} = dN_{v_x}/V$  аст. Дар газ масоҳати  $dS$ -ро, ки ба меҳвари  $OX$  перпендикуляр аст, интихоб менамоем. Ҳамаи молекулаҳои, ки суръаташон аз  $v_x$  то  $v_x + dv_x$  аст ва дар лаҳзаи вақти  $dt$  дар силиндри баландиаш  $v_x dt$  ва масоҳати асосаш  $dS$  мавҷуданд, дар лаҳзаи вақти  $t + dt$  ба масоҳати  $dS$  мерасанд. Адади ин молекулаҳо дар ҳаҷми  $dV = v_x dt dS$ -и силиндр  $dv = dn_{v_x} dV = n \cdot v_x \varphi(v_x) dv_x dt dS$  мебошад.

Миқдори молекулаҳои проексияи суръаташон дар интервали  $(0 \leq v_x \leq \infty)$  воқеъгардида, ки ба масоҳати  $dS$  дар мудати  $dt$  бармеҳӯранд ба:

$$\begin{aligned} dv &= dt dS \cdot n \int_0^{\infty} v_x \varphi(v_x) dv_x = dt dS \cdot n \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int_0^{\infty} v_x \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x = \\ &= dt dS \frac{n}{2} \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x^2 = dt dS \frac{n}{4} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = dt dS \frac{n}{4} \langle v \rangle \end{aligned}$$

баробар аст.

Адади молекулаҳои газ, ки дар воҳиди вақт ба воҳиди масоҳат меафтанд (сели молекулаҳо), баробар аст ба:  $v = \frac{dv}{dS dt} = \frac{n}{4} \langle v \rangle$ .

### § 1.14 Фишор. Андозагирии фишор

Ҳар як молекулаи газ ба девор бархӯрда, дар фосилаи кӯтоҳи вақт бо қувваи муайян ба он таъсир менамояд. Фишори газро адади бархӯрди молекулаҳо ба девори зарф муайян мекунад. Ҳар қадаре молекулаҳо дар ягон фосилаи вақт зиёдтар ба девори зарф бархӯранд ва суръати молекулаҳои ба девор бархӯранда чи қадаре ки зиёд бошад, фишори газ ҳамон қадар меафзояд. Меҳвари  $Ox$ -ро ба масоҳати ниҳоят хурди  $dS$ , ки дар девори зарф ҷойгир аст, амудан равона мекунем. Фарз мекунем, ки молекулаҳо ба самти мусбати меҳвари  $Ox$  ҳаракат мекунанд ва импульсашон  $m\vartheta_x^+$  мебошад. Баъди бархӯрди як молекула ба сатҳи  $dS$ -и девори зарф импульси қувваи девор қабул карда ба  $f_x dt = m_0\vartheta_x^+ - (-m_0\vartheta_x^+) = 2m_0\vartheta_x^+$  баробар мебошад, ки ин ҷо  $f_x$  – проексияи қувва дар меҳвари  $Ox$ , ки ба девор молекулаи массаи  $m_0$  ва суръаташ  $\vartheta_x^+$  дар муддати вақти  $dt$  таъсир мекунад. Аён аст, ки дар муддати вақти  $t + dt$  ҳамаи молекулаҳои, ки дар лаҳзаи вақти  $t$  дар дохили силиндри ҳаҷмаш  $dV = v_x dt \cdot dS$  мавҷуданд ва дорой суръати аз  $v_x$  то  $v_x + dv_x$ -ро мебошанд, ба сатҳи  $dS$  бармеҳӯранд. Адади ин гуна молекулаҳо ба

$$dN_{\vartheta_x} = dn_{\vartheta_x} dV = n\vartheta_x \varphi(\vartheta_x) d\vartheta_x dt dS \quad \text{баробар аст.}$$

Импульси натиҷавии қувва, ки ин молекулаҳо ба девори зарф меоранд, чун:

$$dF_x dt = 2m_0\vartheta_x dN_{\vartheta_x} = 2m_0 n \vartheta_x^2 \varphi(\vartheta_x) d\vartheta_x dt dS \quad \text{ҳисоб меёбанд.}$$

Импульсе, ки масоҳати  $1\text{м}^2$ -и девори зарф дар  $1\text{с}$  мегирад, ба фишори газ баробар аст:

$$dP_{\vartheta_x} = dF_x/dS = 2m_0 n \vartheta_x^2 \varphi(\vartheta_x) d\vartheta_x.$$

Агар ифодаи охириро барои ҳамаи проексияҳои  $v_x$  аз сифр то беохир ҷамъ созем, фишори пурраи газро ҳосил менамоем:

$$P_x = 2m_0 n \int_0^\infty \vartheta_x^2 \varphi(\vartheta_x) d\vartheta_x = 2m_0 n \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int_0^\infty \vartheta_x^2 e^{-\frac{m_0 \vartheta_x^2}{2kT}} d\vartheta_x = nkT. \quad (1.58)$$

Азбаски

$$P_x = nkT = P_y = P_z = P \quad \text{мебошад, аз ин рӯ}$$

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \langle \vartheta^2 \rangle$$

(1.59)

ҳосил мешавад.

Фишори гази идеалӣ ба  $1/3$  ҳиссаи ҳосили зарби массаи молекула  $m_0$ , адади молекулаҳо дар воҳиди ҳаҷм  $n$  ва қимати миёнаи квадрати суръати молекулаҳо баробар аст. Ин муодиларо муодилаи асосии назарияи молекули-кинетикӣ газҳои идеалӣ меноманд, чунки он фишор параметри макроскопиро бо адади молекулаҳо, массаи молекулаҳо ва суръати он, ки бузургиҳои микроскопианд, вобаста месозад.

Азбаски  $m_0 n = \frac{Nm_0}{V} = \frac{m}{V} = \rho$  аст, пас фишори газ  $P = \frac{1}{3} \rho \langle g^2 \rangle$  мешавад. Аз тарафи дигар,  $\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \langle g^2 \rangle}{2}$  - қимати миёнаи энергияи кинетикии миёнаи як молекула ва  $P = nkT = \frac{2}{3} n \langle \frac{m_0 g^2}{2} \rangle$  ё ки  $P = \frac{2}{3} n_0 \langle E_k \rangle$  аст.

Дар амалия лозим меояд, ки фишорҳои аз  $10^{-10}$  Па то  $10^{11}$  Па чен карда шаванд. Асбобҳои, ки барои чен кардани фишор истифода мебаранд, **манометрҳо** меноманд. Асбобҳои, ки барои андозагирии фишори атмосферӣ истифода мебаранд, **барометрҳо** ном гирифтанишонро хотиррасон менамоем. Манометрҳо ба ду гурӯҳ ҷудо мешаванд: 1) манометрҳои бевосита ва 2) манометрҳои бавосита, яъне бузургиро чен мекунад ки ба фишор мутаносибанд. Фишорро дар ҳудудҳои паст, миёна ва баланд бо методҳои гуногун чен мекунад. Фишорҳои паст (яъне, то 100 Па)-ро ба воситаи манометрҳои бавосита (ионизатсионӣ ё термоэлектрӣ) чен мекунад. Дар байни онҳо манометри Мак-Леод дар амалия бисёртар истифода бурда мешаванд. Газро бо ягон роҳ (масалан, изотермӣ) то ҳамон лаҳзае мефишоранд, ки фишорастро чен кардан имконпазир гардад. Изопротсессро доништа, фишори аввалаашро ҳисоб кардан мумкин аст:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad P_1 = \frac{P_2 V_2}{V_1}.$$

Дар расми 1.25 баъзе намуди манометрҳо ва барометрҳо тасвир ёфтаанд.



манометр    барометр

Расми 1.25

Барои чен кардани фишорҳои ба фишори атмосферӣ наздик аз манометрҳои U-монанди моеъгӣ истифода мебаранд. Агар як тарафи манометр кушода бошад, фишор ба фарқи фишори атмосферӣ ва фишори дохилӣ баробар аст. Барои андозагирии фишорҳои баланд деформатсияи лӯлаҳои металиро корбаст мекунад. Масалан, дар манометри Бурдон ҳангоми гузаштани гази фишораш баланд лӯла кӯшиш мекунад, ки рост шавад. Бузургии деформатсия ба бузургии фишор мутаносиб мебошад. Вобаста ба бузургии фишори ченшаванда лӯлаҳои аз материалҳои чандириашон гуногун сохташударо истифода мебаранд.

### § 1.15 Муодилаи ҳолати гази идеалӣ. Қонунҳои таҷрибавии гази идеалӣ

Фишори газ ба консентратсия ва температураи он ин гуна вобастагӣ дорад:

$$P = nkT, \quad (1.60)$$

$n = N/V$  ва  $N/N_A = m/M = \nu$  буданаширо ба эътибор гирифта, ин муодиларо ба тарзи зерин пешниҳод менамоем:

$$PV = \frac{N}{N_A} N_A kT = \nu RT, \quad (1.61)$$

ки ин ҷо бузургии  $R = kN_A = 8,31 \text{ Ҷ}/(\text{молК})$  -ро доимии универсалии газӣ меноманд. Доимии  $R$  ададан ба кори хангоми изобарӣ як мол гази идеалиро ба як Келвин ( $\Delta T = 1\text{К}$ ) гарм кардан иҷро мешуда, баробар аст. Азбаски  $k = R/N_A$ , доимии Болсман ҳам чунин маъноро дорост, танҳо барои як молекула.

$$PV = \nu RT. \quad (1.62)$$

Ин ифодаро муодилаи ҳолати гази идеалӣ меноманд, чунки он вобастагии параметрҳои макроскопии ҳолатро нишон медиҳад. Азбаски бевосита массаи газ маълум аст, ба ҷои миқдори модда  $\frac{m}{M}$  мегузорем. Пас,

$$PV = \frac{m}{M} RT. \quad (1.63)$$

Ин таносуб чун муодилаи Клапейрон-Менделеев маълум гаштааст. Сабаби чунин ном гирифтаниш дар он аст, ки ин муодиларо аввал соли 1834 Клапейрон (инженери фаронсавӣ, ки муддати тулонӣ профессори институти нақлиёти Петербург буд) бо истифодаи қонуни умумикардашудаи Бойл-Мариотт дар шакли зерин пешниҳод карда буд:  $PV = A(267+t)$ . Ин ҷо  $A$ -барои массаи муайяни гази додашуда доимӣ ва коэффисиенти васеъшавии температуравии газро  $\alpha = \frac{1}{267} \text{ К}^{-1}$  қабул карда буд. Баъд Менделеев (соли 1875) доимии молярии газро дохил карда, муодиларо дар намуди (1.63) пешниҳод кард. Муодилаи (1.63) ҳамаи ҷор бузургии  $m, P, V, T$ , ки миқдори додашудаи газро тафсиф медиҳанд, алоқаманд мекунад. Аҳамияти ин муодила дар он аст, ки се параметри ҳолатро доништа, бузургии ҷорумро бе таҷрибагузаронӣ муайян карда метавонем.

Барои 1 мол газ  $V_m = \frac{V}{\nu}$  ва

$$PV_m = RT. \quad (1.64)$$

Ин ифода муодилаи ҳолат барои як мол газ мебошад. Бузургиҳое, ки ба воҳиди масса (1 кг) рост меоянд, бузургиҳои хос ном гирифтаанд. Масалан,  $\vartheta = \frac{V}{m}$  -ҳаҷми хос ва муодилаи ҳолат барои 1кг газ

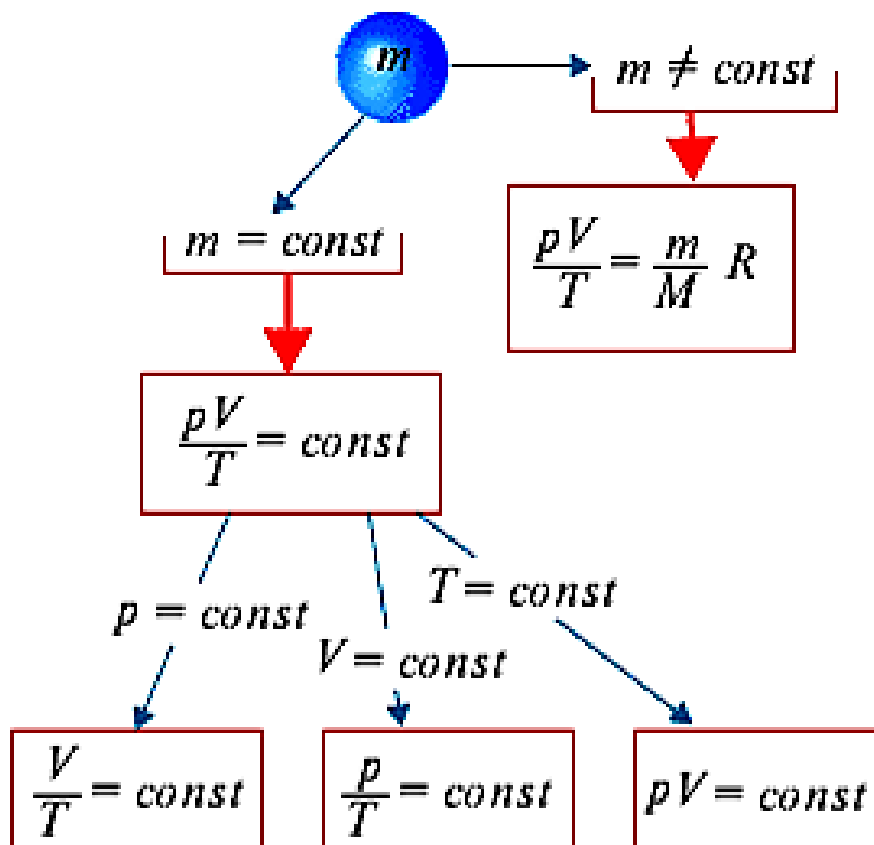
$$P\vartheta = R_0 T \quad (1.65)$$

мешавад. Ин ҷо  $R_0 = \frac{R}{M}$ . Вобаста ба шарти масъала ҳамон муодилаи ҳолатро истифода мебаранд, ки барои ҳисобу китоб осонтар бошад. Барои



изопротсессо бошад, истифодабарии қонунҳои таҷрибавии газ ҳалли масъаларо осон мегардонад. Протсессое, ки ҳангоми доимӣ будани яке аз параметрҳои ҳолат мегузаранд, изопротсессо меноманд. Мафҳуми «изопротсес» аз юнонӣ *isos-* баробар, якандоза, монанд гирифта шудааст.

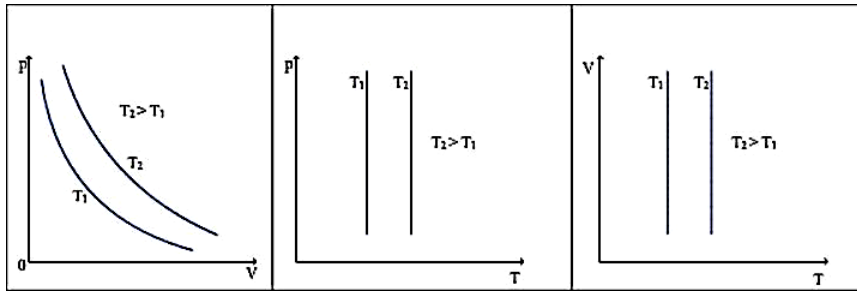
Аз муодилаи ҳолати гази идеалӣ (1.63) кулли қонунҳои газиро, ки тавассути таҷрибаҳо кашф шуда буданд, комилан шарҳ додан мумкин аст.



1. Протсессое, ки дар системаи физикавӣ ҳангоми доимӣ будани температура рӯй меафтад, протсесси изотермӣ меноманд (аз юнонии *therme* - тафс, гармӣ). Барои амалӣ гардидани протсесси изотермӣ системаро дар термостат (ҷисми калонҳаҷме, ки дар мувозинати ҳароратӣ аст) ҷойгир мекунад. Гармигузаронии термостат ба дараҷае зиёд аст, ки байни система ва термостат мубодилаи ғайри гармӣ ба вуҷуд меояд ва температураи система аз температураи термостат амалан фарқ намекунад. Ба протсесси изотермӣ дар фишори доимӣ ҷӯшондани моеъ ё ғудохтани ҷисми кристалӣ мисол шуда метавонад. Дар муодилаи (1.63)  $v = \text{const}$  ва  $T = \text{const}$  ҳисобида, таносуби зеринро ҳосил мекунем:

$$pV = \text{const} \quad \text{ё} \quad p_1V_1 = p_2V_2 \quad (1.66)$$

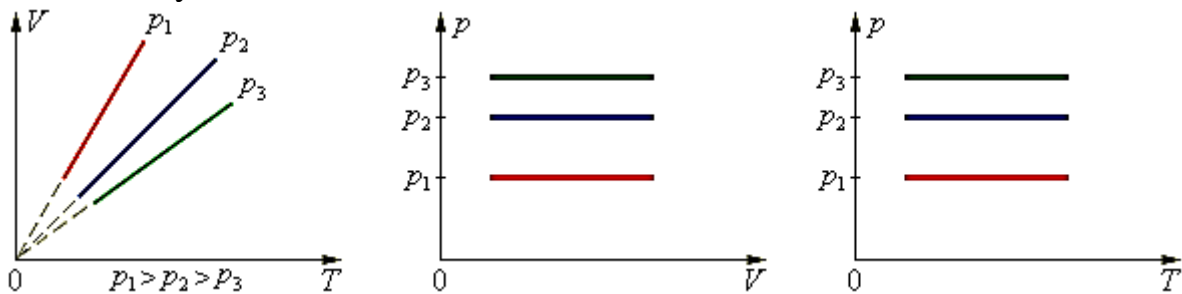
Аз ин ҷо таърифи қонуни Бойл-Мариотт бармеояд: агар ҳангоми тағйир ёфтани ҳолати гази идеалӣ температураи он бетағйир монад, он гоҳ ҳосили зарби фишори газ ба ҳаҷми он барои массаи бетағйир бузургии доимист.



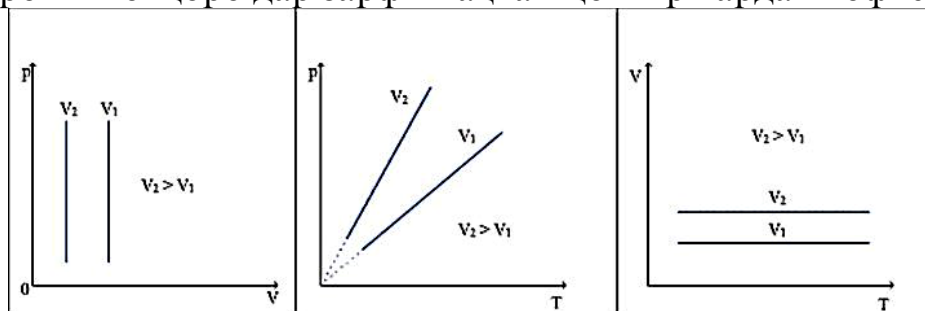
2. Протсессии изобарӣ (аз юнонии *baros* – вазнин, вазн), протсессест, ки дар системаи физикавӣ ҳангоми доимӣ будани фишори беруна ба амал меояд. Одитарин мисолҳои протсессии изобарӣ инҳоянд: васеъ шудани газ дар цилиндре, ки поршени он озодона ҳаракат мекунад, гарм кардани об дар зарфи кушода. Ҳангоми доимӣ будани фишори беруна  $P = \text{const}$  ва миқдори доимии газ  $\nu = \text{const}$  будан, аз муодилаи ҳолат барои ин маврид таносуби зеринро ҳосил менамоем:

$$\frac{V}{T} = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{R}{P} = \text{const} . \quad (1.67)$$

Яъне, ҳангоми фишори доимии беруна ҳаҷми массаи муайяни газ ба температураи мутлақи он мутаносиби роста аст. Ин таъриф ҳамчун қонуни Гей-Люссак маълум аст.



3. Протсессе, ки дар системаи физикавӣ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷми зарф рӯй медиҳад, протсессии изохорӣ (аз юнонии *choza* – фазо) меноманд. Дар газ ва моеъҳо амалӣ гардондани протсессии изохорӣ осон мебошад; барои ин онҳоро дар зарфи маҳкам ҷойгир кардан кофист.



Бигузор протсесс ҳангоми доимӣ будани ҳаҷми зарф  $V = \text{const}$  ва массаи газ гузарад ( $\nu = \text{const}$ ). Он гоҳ аз (1.63) бармеояд, ки:

$$\frac{P}{T} = \frac{m R}{M V} = \text{const} . \quad (1.68)$$

Таносуби (1.68), ки муодилаи протсессии изохорӣ номида мешавад, қонуни маълуми Шарлро ифода мекунад: фишори массаи бетағйири газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ба температураи мутлақи он мутаносиб аст.

4. Аз муодилаи (1.63), инчунин, қонуни умумикардашудаи Мариотт ва Гей-Люссак бармеоёд:

$$(PV)/T = \text{const.} \quad (1.69)$$

Яъне, нисбати ҳосили зарби фишори газ ба ҳаҷми он бар температураи мутлақ барои массаи муайяни газ бузургии доимист.

5. Аз муодилаи (1.63), инчунин, қонуни Авогадро бармеоёд, ки мувофиқи он дар ҳаҷмҳои якандозаи газҳо ҳангоми баробар будани фишор ва температурашон ҳамон як теъдоди молекулаҳо мавҷуд аст.

Бигузур ду гази гуногуни ҳаҷмашон баробар дар фишор ва температураҳои якандоза воқеъ гардида бошанд. Барои ҳар яки онҳо муодилаи ҳолати (1.63)-ро чунин сабт карда метавонем:

$$PV = N_1 kT, \quad PV = N_2 kT,$$

ки дар ин ҷо  $N_1$  ва  $N_2$  – адади молекулаҳои ҳар як газ мебошанд. Аз ин муодилаҳо бармеоёд, ки  $N_1 = N_2$ . Ин аст ифодаи қонуни Авогадро. Аз он таърифи аксаш ҳам бармеоёд: газҳои гуногун, ки теъдоди молекулаҳошон баробаранд дар фишор ва температураҳои якандоза ҳаҷмҳои баробарро ишғол мекунанд. Аз ин ҷо як мол гази дилхоҳ дар фишор ва температураи маълум ҳаҷми баробарро ишғол мекунанд. Масалан, дар шароити нормалӣ ( $T_0 = 273,15$  К,  $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па) як мол гази дилхоҳ ҳаҷми зеринро ишғол мекунад:

$$V_0 = \frac{RT_0}{P_{\text{атм}}} = \frac{8,31 \cdot 273,15}{1,01 \cdot 10^5} = 22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{мол}} = 22,4 \text{ л/мол.} \quad (1.70)$$

6. Натиҷаи муодилаи ҳолати гази идеалӣ қонуни Далтон низ мебошад: фишори умумии омехтаи газҳои аз ҷиҳати химиявӣ ба ҳам бетаъсир ба ҳосили ҷамъи фишорҳои ҷузъӣ (ё парсиалӣ аз юнонии алоҳида)-и газҳои таркибӣ баробар аст. Фишоре, ки газ ҳангоми набудани ҳамаи газҳои дигар ба вуҷуд меорад, фишори парсиалӣ (ҷузъӣ) меноманд.

Барои исботи қонуни Далтон ба назар мегирем, ки дар омехтаи якчанд газҳо адади умумии молекулаҳо ба суммаи ададҳои молекулаҳои газҳои алоҳидаи таркиби он баробар аст:

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n. \quad (1.71)$$

(1.71) –ро ба (1.63) мегузорем:

$$P = N \cdot \frac{kT}{V} = (N_1 + N_2 + \dots + N_n) \frac{kT}{V} = \frac{N_1 kT}{V} + \frac{N_2 kT}{V} + \dots + \frac{N_n kT}{V}. \quad (1.72)$$

Ҳар як ҷамъшавандаи муодилаи (1.72) фишори парсиалии гази таркиби омехтаи додасударо ифода мекунад. Аз ин ҷо

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (1.73)$$

Ё ки ҳар ду тарафи муодилаи (1.71)-ро ба  $V$  тақсим карда ифодаҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{N}{V} = \frac{N_1}{V} + \frac{N_2}{V} + \dots + \frac{N_m}{V}, \quad kTn = n_1 kT + n_2 kT + \dots + n_m kT, \quad P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_m,$$

$$PV = \frac{m_1}{M_1} RT + \frac{m_2}{M_2} RT + \dots + \frac{m_m}{M_m} RT, \quad PV = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots \right) RT.$$

Массаи молии нисбиро  $\frac{1}{\langle M \rangle} = \frac{1}{m} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots \right)$  ворид сохта, муодилаи ҳолатро барои омехтаи газҳо чунин пешниҳод карда метавонем:

$$PV = \frac{m}{\langle M \rangle} RT . \quad (1.74)$$

Ифодаи (1.74) муодилаи ҳолат барои омехтаи газҳо мебошад.

7. Аз муодилаи Менделеев - Клапейрон қонуни Амага низ бармеояд: ҳаҷми омехтаи газҳои идеалии аз ҷиҳати химиявӣ ба ҳам бетаъсир ба суммаи ҳаҷмҳои парсиали(чӯзби)-и онҳо баробар аст, яъне

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n . \quad (1.75)$$

ин ҷо  $V_1, V_2, \dots$  ҳаҷмҳои парсиали:

$$V_i = N_i \frac{kT}{P}, \quad i = 1, \dots, n . \quad (1.76)$$

Аз муодилаи (1.76) бармеояд, ки ҳаҷми парсиали  $V_i$  ҳаҷмест, ки ҳангоми набудани ҳамаи газҳои дигар газ  $i$ -ӯм ишғол карда метавонад (дар фишор  $P$  ва температураи  $T$  муайян).

Барои исбот аз муодилаи (1.75) ҳаҷми омехтаи газҳоро меёбем:

$$V = N \frac{kT}{P} . \quad (1.77)$$

Аз муодилаи (1.73) ифодаро барои  $N$  гузошта, баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$V = (N_1 + \dots + N_n) \frac{kT}{P} = N_1 \frac{kT}{P} + \dots + N_n \frac{kT}{P} = V_1 + V_2 + \dots + V_n .$$

Яъне, дурустии қонуни Амагаро тадиқ мешавад.

## § 1.16. Температура ва андозагирии он

Вожаи «температура» ҳамчун натиҷаи ҳиссиёти инсон дар даврае пайдо шуд, ки одамон чунин меҳисобиданд, ки ҷисми гармтар назар ба хунуктар миқдори зиёдтари моддаи махсус – гармиофар дорад. Ҳамин буд, ки температураро ҳамчун дараҷаи зиёдии омехтаи моддаи ҷисм ва гармиофар пазируфтаанд ва воҳиди андозагирии дараҷаи баландии температураю нӯшокиҳои спиртиро градус (аз латинии gradus- қадам, зина, дараҷа) номидаанд.

Барои тавсифи дараҷаи гармии ҷисм мафҳуми температура хизмат мекунад. Ин мафҳум ба қобилияти ба ҳамдигар энергиядиҳии ҷисмҳои дараҷаи гармиашон гуногун ва дар температураи баробар дар ҳолати мувозинатии ҳароратӣ будан асос ёфтааст. Ҳамеша гармӣ аз ҷисми температурааш баландтар ба ҷисми температурааш пасттар мегузарад. Температураро ҳамчун меъёри энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо, яъне параметри ҳароратии ҳолати модда муайян кардан мумкин аст. Аз ин ҷо дида мешавад, ки мафҳуми температура барои як молекула татбиқнашаванда аст, чунки дар температураи муайян энергияи як молекула ҳамчун қимати миёна тавсиф карда намешавад. Аз ин сабаб, мафҳуми «температура» статистикӣ мебошад, яъне ба тамоми система дахл дорад.

Дараҷаи гармии ҳисмҳоро бо мафҳумҳои гармтар ва сардтар тавсиф медиҳанд. Агар ҳангоми расиш аз ҳисм энергия гирем, он ҳисм гарм ва агар баръакс ба ҳисм энергия интиқол ёбад, онро сард мегӯем. Гарм ё сард намудани ҳисм қариб ба ҳамаи хосиятҳои физикии он таъсир мерасонад: андозаи ҳаттии ҳисм, хосиятҳои электрии онҳо (муқовимат) ва ғ. тағйир меёбанд. Барои баҳо додан ба дараҷаи гармии ҳисм температураи онро чен кардан лозим меояд. Дар ин гуна амал аввал ҳисми температуравироро баъд бузургии температуравиро интихоб намудан лозим аст. Масалан, милаи метали чун ҳисми температуравию муқовимати он бузургии температуравӣ, монанди ҳамин газ ҳисми температуравию фишор ё ҳаҷми он бузургии температуравӣ мешавад.

Қайд кардан зарур аст, ки интихоби ҳисми термометрӣ ихтиёрӣ нест. Онро чунон интихоб бояд кард, ки бузургии физикавии ҳолати ҳисмро тавсифдиҳанда ба температура вобаста бошад. Бузургии физикавӣ бояд, ки: 1) бефосила; 2) монотонӣ (якзайл) тағйир ёбад, яъне дар ҳамаҷо як температура қиматҳои гуногун надошта бошад; 3) бо тарзи сода ва мусоид саҳеҳ чен шавад; 4) саҳеҳ такрор шавад; 5) ҳангоми температура ба  $1^0$  тағйир ёфтани ҳар чӣ қадар зиёдтар тағйир ёбад (ҳасосияти зиёд); 6) аз дигар омилҳо ба ғайр аз температура вобаста набошад. Бузургииеро, ки ин шартҳоро қаноат мекунонад, бузургии термометрӣ меноманд.

Фарз мекунем, ки бузургии термометрӣ  $\ell$  аст. Барои муайян кардани  $1^0$  онро дар ду ҳолат чен кардан лозим меояд Шкалаи таҷрибавии температура бо  $t$  ишора менамоем. Ба сифати нуқтаҳои таҷрибавӣ температураи яхшавӣ ва ҷӯшиши обро қабул мекунем. Пас,  $1^0 = \frac{\ell_2 - \ell_1}{t_2 - t_1}$ , он гоҳ температураи ихтиёрӣро чун:

$$t = t_1 + \frac{\ell_t - \ell_1}{1^0} = t_1 + \frac{\ell_t - \ell_1}{\ell_2 - \ell_1} (t_2 - t_1)$$

муайян карда метавонем

Дар физика шкалаҳои таҷрибавии зиёде мавҷуданд ки ба интихоби  $t_1$  ва  $t_2$  вобастаанд. Яке аз шкалаҳои таҷрибавии асосӣ шкалаи Селсий аст. Дар ин шкала температураи яхшавии об дар фишори нормалӣ  $0^0$  қабул шудаасту температураи ҷӯшиши об  $+100^0$

$$t_{0C} = \frac{\ell_t - \ell_1}{\ell_2 - \ell_1} \cdot 100.$$

Фарангейт ба сифати  $0^0$  температураи омехтаи обу ях бо спирти навшодирро ва ҳамчун нуқтаи баландтарин температураи баданро интихоб кард. Фосилаи байни ин нуқтаҳоро ба сад ҳиссаи баробар тақсим карда, ҳар якеро як градус ( $1^0$  –и Фарангейт ё худ  $1^0F$ ) қабул кардааст. Дар ин шкала температураи яхшавии об  $t_1=32^0C$  ва ҷӯшишаш  $t_2=212^0C$  мешавад:

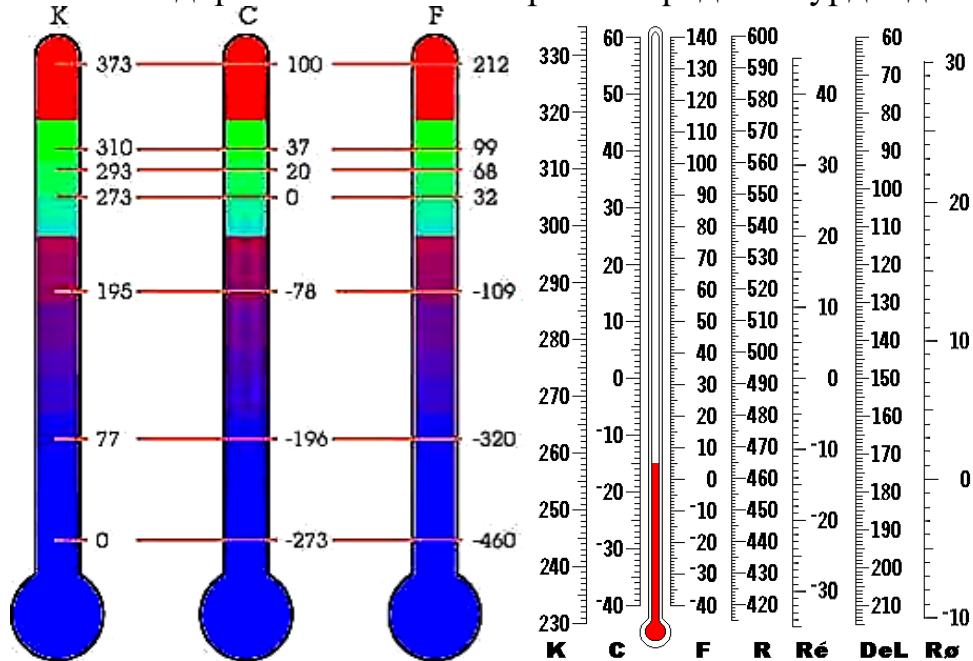
$$t_F = 32 + \frac{\ell_t - \ell_1}{\ell_2 - \ell_1} 180.$$

Соли 1730 Реомюр шкалаи навро дар шарҳи термометри спиртии кашф кардааш пешниҳод намудааст. Вай температураи яхшавии обро  $0^0$  ва

ба сифати 1<sup>0</sup> чунин температураро қабул кард, ки ҳаҷми спирт ё симоб ба 0,001 хиссааш тағйир меёбад. Дар ин шкала температураи ҷӯшиши об 80°C мешавад:

$$t_R = \frac{l_2 - l_1}{l_2 - l_1} \cdot 80.$$

То соли 1917 дар Россия ин шкаларо истифода мебуданд.



Формулаҳои гузариш аз шкалаҳои мавҷуда ба шкалаи Селсия ва баръакс:

Фаренгейт (°F)  $[\text{°F}] = [\text{°C}] \times 9/5 + 32$   $[\text{°C}] = ([\text{°F}] - 32) \times 5/9$

Келвин (K)  $[\text{K}] = [\text{°C}] + 273.15$   $[\text{°C}] = [\text{K}] - 273.15$

Ранкин (Rankine)  $[\text{°R}] = ([\text{°C}] + 273.15) \times 9/5$   $[\text{°C}] = ([\text{°R}] - 491.67) \times 5/9$

Делил (Delisle)  $[\text{°De}] = (100 - [\text{°C}]) \times 3/2$   $[\text{°C}] = 100 - [\text{°De}] \times 2/3$

Нютон (Newton)  $[\text{°N}] = [\text{°C}] \times 33/100$   $[\text{°C}] = [\text{°N}] \times 100/33$

Реомюр (Réaumur)  $[\text{°Ré}] = [\text{°C}] \times 4/5$   $[\text{°C}] = [\text{°Ré}] \times 5/4$

Рёмер (Rømer)  $[\text{°Rø}] = [\text{°C}] \times 21/40 + 7.5$   $[\text{°C}] = ([\text{°Rø}] - 7.5) \times 40/21$

Таҷрибаҳо нишон доданд, ки термометрҳои аз як қисми термометрӣ ва бузургҳои термометрии гуногун ва як бузургии термометрӣ ва қисмҳои гуногуни термометрӣ сохташуда температураи ҳамон як қисмро дар нуқтаҳои тақиягоҳӣ якандоза нишон медиҳанд дар нуқтаҳои мобайнӣ гуногун. Аз ин рӯ, қисми термометриеро интихоб кардан лозим аст, ки дар он ин норасоӣҳо набошанд. Аз ҳама беҳтараш ба сифати қисми термометрӣ гази идеалиро интихоб менамоем. Газҳои ниҳоят тунук ба газҳои идеалӣ наздиканд. Ба воситаи қонуни Бойл-Мариотт месанҷем, ки гази интихобшуда идеалӣ ҳаст ё не, баъд қонунҳои Гей-Люссак ё Шарлро барои муайян кардани температура истифода мебарем. Дар мавриди истифодабарии протсессии изохорӣ андозагирии температура осонтар мегардад. Он гоҳ фишорро чен кардаву температураро муайян сохтан мумкин аст. Чунин қабул кардаанд, ки фарқи байни температураи ҷӯшиш ва яхкунии об дар фишори нормалӣ ба 100<sup>0</sup> баробар аст, яъне  $T_2 - T_1 = 100$ . Таҷриба нишон дод, ки ҳангоми  $V = \text{const}$  дар ин температураҳо нисбати фишорҳо



$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} = 1,3661$  мешавад. Аз ин натиҷаҳо бармеояд, ки  $T_1 = 273,15K$ ,  $T_2 = 373,15K$

мебошанд. Ин навъ шкаларо шкалаи газӣ меноманд.

Азбаски температураҳои ҷӯшиш ва яхшавии об ба фишори беруна вобастаанд, температураи нуқтаи сегонаи обро ба сифати нуқтаи тақягоҳӣ қабул карда ва ин температураро  $T = 273,16K$  ҳисобидаанд. Ҳамин аст, ки температураи дилхоҳро бо ифодаи  $T = \frac{P}{P_0} 273,16K$  бояд ёфт. Ин ҷо  $P_0$  -

фишорест, ки дар температураи  $273,16 K$  чен карда мешавад. Дар оянда исбот менамоем, ки шкалаи газӣ бо шкалаи мутлақи термодинамикии температура мувофиқ аст. Аз ин сабаб,  $T$ -ро температураи термодинамикии мутлақ меҳисобем. Шкалаи Ранкин ҳамчун шкалаи Келвин аз сифри мутлақ ибтидо меёбад, аммо дар он ба сифати як тақсимот шкалаи Фаренгейт ( $1^\circ Ra = 1^\circ F$ ) истифода мешавад.

Барои ҳар як модда фишор ва температураи нуқтаи сегона қимати муайян доранд.

Модда	$T_c, K$	$P_c, атм$
Дуоксиди карбон ( $CO_2$ )	216,5	5,11
Об ( $H_2O$ )	273,16	$5 \cdot 10^{-3}$
Оксиген ( $O_2$ )	54,4	$15 \cdot 10^{-4}$
Йод ( $J_2$ )	387,3	$12 \cdot 10^{-2}$

Барои чен кардани температура аз термометрҳои газӣ ҳамчун стандарт истифода мебаранд. Барои андозагириҳои бевосита аз термометрҳои моеъгӣ (симобӣ ё спиртӣ), термоэлементҳо, термисторҳо ва ғайраҳо истифода мебаранд. Масалан, бо термометри пентанӣ аз  $38,87$  то  $600$   $^\circ C$ -ро чен кардан мумкин аст. Дар термометрҳои муқовиматӣ вобастагии муқовимати хосро ба температураро чен мекунанд. Аз ҳама ҳудуди зиёди андозагириро термометри платинагӣ дорад, ки ба воситаи он температураҳои аз  $-200$   $^\circ C$  то  $1100$   $^\circ C$ -ро чен кардан мумкин аст. Ин термометрро дар ҳудуди аз  $-190$   $^\circ C$  то  $660$   $^\circ C$  Комитети Байналмиллалии ченаку вазн ҳамчун эталон (намунаи сахҳтарин) пешниҳод кардааст. Дар айни замон термометри амалии аз ҳама сахҳ термометри муқовиматии платинагӣ ба ҳисоб меравад. Термометрҳои муқовиматии мисинро аз  $-20$   $^\circ C$  то  $100$   $^\circ C$  ва дар температураҳои паст аз термометрҳои муқовиматии аз биринҷӣ ё графит сохташуда истифода мебаранд.

Барои сахҳ чен кардани температура термометрҳои муқовиматии аз нимноқилҳо сохташуда истифода мешаванд, ки онҳоро термистор меноманд. Бо баланд гардидани температура муқовимати нимноқилҳо кам мешавад ва суръати ин камшавӣ назар ба зиёдшавии муқовимат дар ноқилҳо ба маротиб зиёд аст.

Бо термопараҳо эффекти термоэлектрикиро истифода бурда фарқи потенциалҳоро чен мекунанд. Аз ҳама ҳудуди зиёди андозагириро термо-

параҳои платина ва платинаю родий дороянд, ки температураи ҳисро аз 0 °C то 1700 °C бо онҳо чен қадан имконпазир мебошад.

Аз термометрҳои мавҷуда шкалаи мутлақи температураро дар интервали то 1200 °C аниқтар термометрҳои газӣ ифода мекунанд, аммо онҳо мураккаб ва ҳаҷми қалон доранд, ки барои дар амал истифодабарӣ номусоид мебошанд. Аз ин сабаб, дар амал Шкалаҳои амалии байналмиллалӣ температура (ШАБТ) қабул ва истифода мешавад. Дар физика шкалаи термометрии соли 1968 қабулшуда (ШАБТ-68)-ро, ки нуқтаҳои таҷрибааш ба гузариши фазаҳои моддаҳо асос ёфтааст, қарор менамоянд. Дар ҳаҷми зер, ки нуқтаҳои таҷрибааш асосӣ ва иловагӣ оварда шудаанд, барои дар ҳудудҳои гуногуни температура санҷидани термометрҳои эталонӣ мавриди истифода қарор меёбанд. Дар оянда нуқтаҳои таҷрибааш аниқ қарор шуданд, вале принсипи муайянсозии онҳо бетағйир монд. Ҳоло шкалаи ШАБТ-90 мавриди истифода қарор дорад. Температурано сифри мутлақро ҳосил қарор ғайримон аст. Температурано аз ҳама пасттарин  $(450 \pm 80) \cdot 10^{-12} \text{K}$  дар конденсати Бозе-Эйнштейни атомҳои натрий соли 2003 ҳосил қарор шуд. Дар ин маврид максимуми афканишоти ҳароратӣ дар соҳаи дарозии мавҷи қариб 6400 км мебошад, ки тақрибан ба радиуси Замин баробар мебошад.

Барои дараҷабандии термометрҳо комитети Байналмиллалӣ ченакҳо температураҳои зеринро пешниҳод қарор меёбад ( $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ):

Модда	T, K	t, °C
Нуқтаи сегонаи гидроген ( $\text{H}_2$ )	13,81	-259,34
Нуқтаи ҷӯшиши неон (Ne)	27,102	-246,04
Нуқтаи сегонаи об ( $\text{H}_2\text{O}$ )	273,16	0,01
Нуқтаи ҷӯшиши оксиген ( $\text{O}_2$ )	90,188	-182,962
Нуқтаи ҷӯшиши об ( $\text{H}_2\text{O}$ )	373,15	100,0
Нуқтаи ғудозиши руҳ (Zn)	692,73	419,58
Нуқтаи ғудозиши нуқра (Ag)	1235,08	961,93
Нуқтаи ғудозиши тилло (Au)	1373,58	1064,43

Нуқтаҳои таҷрибааш иловагӣ	P, атм	T, K	t, °C
Нуқтаи сегонаи неон (Ne)	0,4283	24,561	-248,589
Нуқтаи сегонаи нитроген ( $\text{N}_2$ )	0,1236	63,146	-210,004
Нуқтаи ҷӯшиши нитроген ( $\text{N}_2$ )	1	77,344	-195,806
Нуқтаи ҷӯшиши нитроген (Ar)	1	87,294	-185,856
Нуқтаи ғудозиши индий (In)		429,74	156,634
Нуқтаи ғудозиши висмут (Bi)		544,592	271,442
Нуқтаи ғудозиши сурб (Pb)		600,652	327,502
Нуқтаи ғудозиши алюминий (Al)		933,61	660,46
Нуқтаи ғудозиши мис (Cu)		1358,03	1084,88
Нуқтаи ғудозиши никел (Ni)		1728	1455
Нуқтаи ғудозиши кобалт (Co)		1768	1495
Нуқтаи ғудозиши палладий (Pd)		1827	1554

Нуқтаи гудозиши оксиди алюминий $Al_2O_3$	2327	2054	
Нуқтаи гудозиши молибден (Mo)	2896	2623	
Нуқтаи гудозиши волфрам (W)	3695	3422	
Нуқтаи чӯшиши симоб (Hg)	1	629,81	356,66
Нуқтаи чӯшиши сулфур (S)	1	717,824	444,674

Температураи аз хама паст дар рӯи Замин то соли 1910  $-68^{\circ}C$ , Верхоянск. Температураи баландтарине, ки инсон ҳосил кардааст  $\sim 10$  трлн К (ба температураи Коинот дар сонияҳои авали пайдоишаш наздик)-ро соли 2010 хангоми бархӯрди ионҳои сурб, ки то суръатҳои ба суръати рӯшноӣ наздик шитобонида шуда буданд, ба ҳисоб меравад. Таҷриба дар Коллайдери Андронии Бузург гузаронида шудааст.

Дар температураҳои ниҳоят баланд ҳамаи металҳо гудохта мешаванд. Аз ин сабаб, ба сифати ҷисми термометрӣ ҳуди ҷисмро интиҳоб мекунанду ба сифати бузургии термометрӣ нурафканиаширо. Қонунҳои нурафканиии ҷисми мутлақ сиёҳ маълум аст ва дарозии мавҷи ба максимуми нурафкани мувофиқоянда бо температура чунин вобаста аст:  $\lambda = \frac{const}{T}$ . Комитети Байналмиллалӣ барои андозагирии температураҳои аз  $t > 1063^{\circ}C$  зиёд ин методро тавсия намудааст. Асбобҳои, ки аз рӯи нурбарорӣ температураро муайян менаманд, пирометрҳо ном гирифтаанд (расми 1.26).



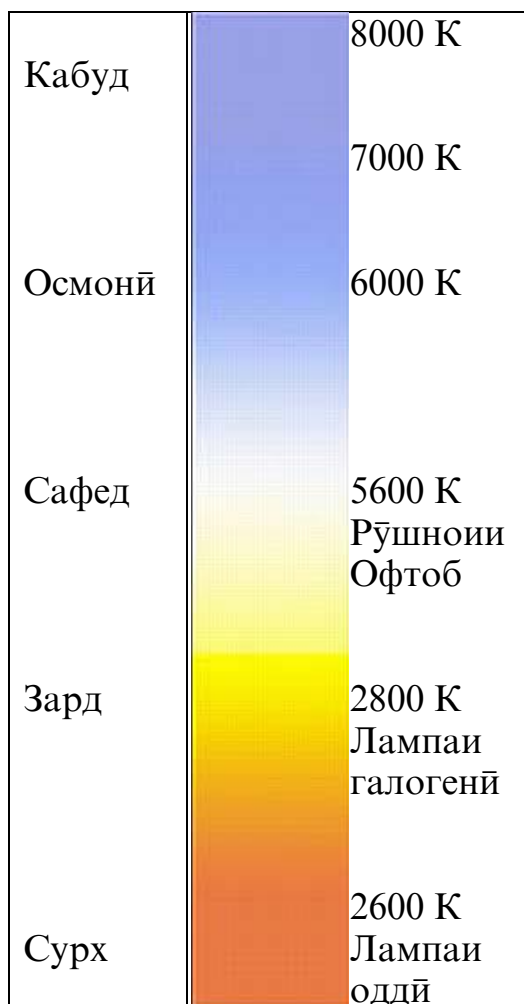
Расми 1.26 Термометрҳои оптикӣ

Дар ҷадвали 1.4 ва расми 1.27 интервали дарозии мавҷ, басомад ва шкалаи афканишотии температура оварда шудааст.

Ҷадвали 1.4. Интервали дарозии мавҷ, басомад ва рангҳои ба онҳо мувофиқ

Ранги спектр	Дарозии мавҷ, нм	Басомад, ТГц
Сурх	760 – 620	395 – 483
Норинҷӣ	620 – 590	483 – 508
Зард	590 – 560	508 – 536

Сабз	560 – 500	536 – 600
Осмонӣ	500 – 480	600 – 625
Кабуд	480 – 450	625 – 666
Бунафш	450 – 380	666 – 789



Расми 1.27 Шкалаи афканишотии температура

Дар температураҳои ниҳоят паст ҳам ба сифати ҷисми термометрӣ худӣ ҷисмро интиҳоб мекунанду ба сифати бузургии термометрӣ хосиятҳои магнитии онро.

Ба сифати шкалаи таҷрибавӣ шкалаи Селсия иҷозат дода шудааст, ки 1К ба 1°C баробар аст ( $\Delta t = \Delta T$ ).

Дар ҷадвали 1.5 соҳаҳои таъбиқи термометрҳо оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.5. Соҳаи таъбиқи термометрҳо

Газ	пентан	аз -200 то +20 °С
Моеъ	Симоб	аз -39 то +600 °С
Ҷисми саҳт-муқовимати электрӣ	Мис	аз -20 то +100 °С
	Платина	аз -190 то +1100 °С

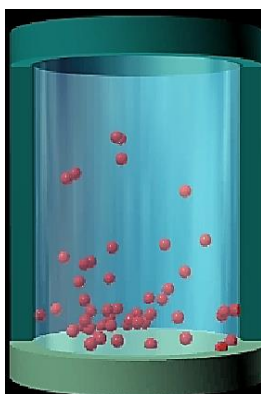
Чисми сахт-термопараҳо	Хромел-алюмел Платина- платинородий	аз -200 то +1350 °С аз 0+ то 1700 °С
Чисми сахт-хосиятҳои магнитӣ		~-273 °С
Чисми сахт-нурафканӣ		аз +600то+3000 °С ва зиёд

Агар ду чисми дараҷаи гармиашон гуногунро ба ҳам расонем, молекулаҳои ин чисмҳо байни худ бархӯрда бо ҳамдигар мубодилаи энергия мекунанд. Дар натиҷа чисмеро, ки энергия медиҳад, чисми гармтар меноманду чисми энергия гирифтаро сардтар. Мубодилаи энергия то замоне давом меёбад, ки қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои ҳар ду чисм баробар шавад, яъне то лаҳзае, ки байни ин чисмҳо мувозинати ҳароратӣ барқарор гардад. Дар байни ин чисмҳо дар сатҳи микроскопӣ мубодилаи энергия давом меёбаду дар сатҳи макроскопӣ гузариши энергия қатъ ёбад.

### § 1.17. Тақсимои Болсман

Дар майдони потенциалии энергияи пурраи молекула аз суммаи энергияҳои кинетикӣ ва потенциалии он иборат аст, яъне  $E = E_k + E_n$ .

Майдони потенциалии танҳо ба тақсимои консентратсияи молекулаҳо таъсир мерасонад. Масалан, дар зарфҳои дар майдони потенциалии буда дар тағи зарф назар ба болои зарф адади молекулаҳо зиёдтар ҷойгир мешавад. Дар расми 1.28 тақсимои молекулаҳо дар зарф тасвир шудааст.



Расми 1.28

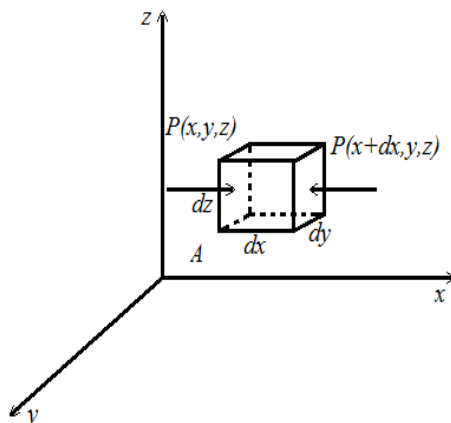
Энергияи миёнаи кинетикӣ ва температура дар ҳама ҷо якхела мешавад. Дар қабри зарф адади молекулаҳо зиёд, вале суръаташон кам аст, дар қисми болои зарф суръати молекулаҳо зиёд, вале ададашон кам. Дар майдони потенциалии қувваи потенциалии бо қувваи аз ҳисоби фарқи фишорҳо ҳосилгардида компенсатсия мешавад:

$$d\vec{F}_1 + d\vec{F}_2 = 0. \quad (1.78)$$

$$F = -\text{grad}E_n \quad F_{1x} = -n dx dy dz \frac{\partial E_n}{\partial x} \quad F_{2x} = -\frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz \quad F_{1x} + F_{2x} = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} dx = -n \frac{\partial E_n}{\partial x} dx - \frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz = -n \left( \frac{\partial E_n}{\partial x} dx + \frac{\partial E_n}{\partial y} dy + \frac{\partial E_n}{\partial z} dz \right)$$

$$dP = -n dE_n - kT dn = -n dE_n \int_{n(x_0, y_0, z_0)}^{n(x, y, z)} \frac{dn}{n} = - \int_{E_n(x_0, y_0, z_0)}^{E_n(x, y, z)} \frac{1}{kT} dE_n$$



$$\ln \frac{n(x, y, z)}{n(x_0, y_0, z_0)} = - \frac{1}{kT} [E_n(x, y, z) - E_n(x_0, y_0, z_0)]$$

$$n(x, y, z) = n(x_0, y_0, z_0) e^{-\frac{E_n(x, y, z) - E_n(x_0, y_0, z_0)}{kT}}$$

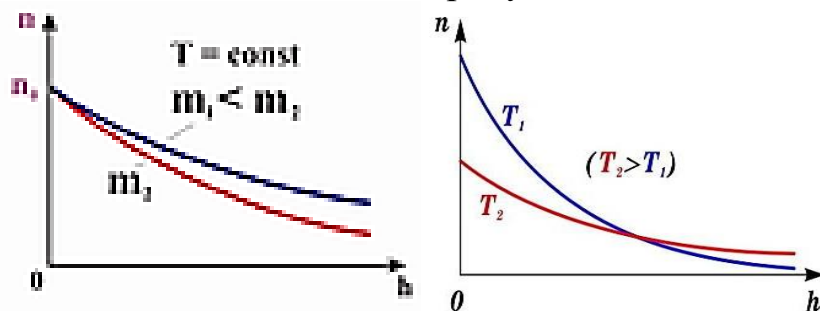
Энергияи потенциалиро ҳамеша нормиронидан мумкин аст, яъне дар ягон сатҳ энергияи потенциалиро баробари сифр қабул мекунад. Ишораҳои зеринро

$$E_n(x_0, y_0, z_0) = 0, \quad E_n(x, y, z) = E_n, \quad n(x, y, z) = n, \quad n_0 = n(x_0, y_0, z_0)$$

истифода бурда таносубро ҳосил менамоем, ки тақсимоти Болсманро ифода мекунад:

$$n = n_0 e^{-E_n / kT} \quad (1.79)$$

Дар расми 1.29 тақсимоти молекулаҳо вобаста ба баландӣ барои  $T = \text{const}$ ,  $m_1 < m_2$  ва  $m = \text{const}$ ,  $T_1 < T_2$  тасвир шудааст.



Расми 1.29

Агар консентратсияи молекулаҳо дар сатҳи сифрӣ маълум набуда, адади умумии молекулаҳо дар ҳаҷми муайян маълум бошад, он гоҳ

$$n = A e^{-E_n / kT}, \quad A \int e^{-E_n / kT} dx dy dz = N, \quad \frac{N}{A} = \int e^{-E_n / kT} dx dy dz$$

мешавад.



Дар ҳама ҳолатҳое, ки майдони потенциали мавҷуд бошад, тақсимои Болсман чой дорад. Масалан, тақсимои молекулаҳо дар атмосфера.

Доимии Болсманро аз соли 1906 сар карда бо роҳи таҷрибай Ж.Б.Перрен (1870-1942) муқаррар сохтааст. Барои ин зарраҳои гуммигутро, ки зичиашон ба зичии об наздику ҳаҷмашон маълум аст  $\rho$  гирифта, дар об омехта, дар чуқуриҳои гуногун бо микроскоп ададашонро ҳисоб бояд кард:

$$E_n = -\rho(\rho - \rho_0)gh, \quad n = n_0 e^{-\rho(\rho - \rho_0)gh/kT}.$$

Ж.Б.Перрен бо ин гуна таҷрибаҳои муайян намуд, ки концентратсияи зарраҳо вобаста ба баландӣ экспоненциали тағйир меёбад. Яъне, тақсимои зарраҳо ба тақсимои Болсман мувофиқ меояд:

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\frac{\rho(\rho - \rho_0)gh}{kT}$$

Азбаски ҳаҷм ва зичии зарраҳо бо роҳҳои новобаста чен карда мешаванд, аз ин таҷриба Перрен доимии Болсманро муайян кард:  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Ҷ/К. Минбаъд аз таҷрибаҳо бо ҳаракати броунӣ низ Перрен бузургии  $k$ -ро муайян намудааст.

Агар гази идеали дар майдони қуввагӣ чой гирифта бошад, дар як вақт ҳарду тақсимои Максвелл мувофиқи энергияи кинетики молекулаҳо ва ҳам тақсимои Болсман мутобиқи энергияи потенциали молекулаҳо амали мегардад. Барои ин ҳар ду тақсимои мутахид кардан лозим аст:

$$dn = n \frac{2}{\sqrt{\pi(kT)^3}} e^{-\frac{\varepsilon_k}{kT}} \sqrt{\varepsilon_k} d\varepsilon_k - \text{тақсимои Максвелл,}$$

$$n = n_0 e^{-\frac{\varepsilon_n}{kT}} - \text{тақсимои Болсман.}$$

Дар натиҷа ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$dn = n_0 \frac{2}{\sqrt{\pi(kT)^3}} e^{-\frac{\varepsilon_k + \varepsilon_n}{kT}} \sqrt{\varepsilon_k} d\varepsilon_k$$

Ин формулаи тақсимои Максвеллу Болсман мебошад.

## §1.18 Атмосфераи сайёраҳо ва формулаи барометри

Танҳо дар атрофи сайёраҳои нисбатан азим, ки майдони қозибаашон молекулаҳои газҳои массаи молиашон миёнаро нигоҳ дошта метавонанд, қабати берунаи газҳои зич ва моеъӣ-обӣ вуҷуд дошта метавонанд. Температураи сатҳашон бояд назар ба температураи обшавии ях зиёдтару аз температураи ҷӯшиши об камтар бошад. Аз сайёраҳои системаи Офтобӣ чунин шароитро танҳо Замин дорад. Масалан, Уторид (Меркурий) аз сабаби массаи кам доштан ( $0,06$  ҳиссаи массаи Замин) ва ба Офтоб наздик буданаш атмосфераашро амалан гум кардааст (фишори атмосфераи Уторид  $< 2 \cdot 10^{-14}$  атм). Зӯҳра (Венера) агарчӣ атмосфераи зич (наздики  $90$  атм) дорад, бо сабаби эффекти парникӣ (гармхонагӣ)-и зиёд температураи сатҳи

он (тақрибан  $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) назар ба температураи критикии гузариши об ба ҳолати газӣ (флюидӣ) ( $374\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ниҳоят зиёд мебошад. Дар Миррих (Марс), ки массааш  $0,11$  массаи Заминро ташкил медиҳад, атмосфераи ниҳоят тунук (наздики  $6 \cdot 10^{-3}$  атм) боқӣ мондасту гидросфераи ин сайёраи сард танҳо дар ҳолати яхӣ ҳоло вуҷуд дорад. Сайёраҳои берунии системаи Офтобӣ - Муштарӣ (Юпитер), Зухал (Сатурн), Уран ва Нептун атмосфераи ниҳоят зич доранду гидросфера надоранд. Дар радиохояшон монанди Миррих обҳои сатҳӣ танҳо дар ҳолати яхӣ мавҷуданд.

Ҳавое, ки заминро иҳота кардааст, атмосфера (аз юн. *atmos*-буғ ва *sphaira*-кура, гунбаз) ном дорад. Массаи атмосфераи Замин тақрибан  $5,15 \cdot 10^{18}$  кг мебошад. Фишори миёнаи ҳаво дар сатҳи баҳр  $P_0=1\text{ атм} = 1,0132\text{ бар} = 1013,2\text{ мбар}$  ( $760\text{ мм. сутуни симобӣ}$ ) ва зичиаш  $\rho_0 = 1,27\text{ кг/м}^3$  аст.

Таркиби нитрогенӣ – оксигени атмосфераи Замин барои сайёраҳои системаи Офтобӣ беҳамто мебошад. Ҳавои хушк  $75,51\%$  (аз рӯи масса) нитроген,  $23,15\%$  оксиген,  $1,28\%$  аргон,  $0,046\%$  ангидрид(турши)-и карбон,  $0,00125\%$  неон ва наздики  $0,0007\%$  газҳои дигарро дорад.

Компонентаи муҳиму фаъоли атмосфера буғҳои об (ва об дар қатраҳои абрҳо) ба ҳисоб мераванд. Дар атмосфера буғҳои об ва об ( $1,2-1,3$ )  $10^{16}$  кг-ро ташкил медиҳанд. Агар буғшавӣ ва боришоти миёнаи солоноро тақрибан  $760\text{ мм}$  сутуни обӣ гирем, ба осонӣ муайян карда метавонем, ки буғҳои об дар атмосфера  $30$  маротиба дар як сол, ё ки ҳар  $12$  рӯз нав мешаванд. Дар қабатҳои болоии атмосфера молекулаҳои оксиген нурҳои ултрабунафши Офтобро фуру мебаранд ва диссоциатсияи онҳо ба амал меояд. Ҳамин протсесс ҳаёти организмҳои зиндаро дар сатҳи Замин аз таъсири ҳалокатовари афканишоти ултрабунафш эмин нигоҳ медорад. Пайдоиши қабати озонӣ низ бо ин протсесс алоқаманд аст.

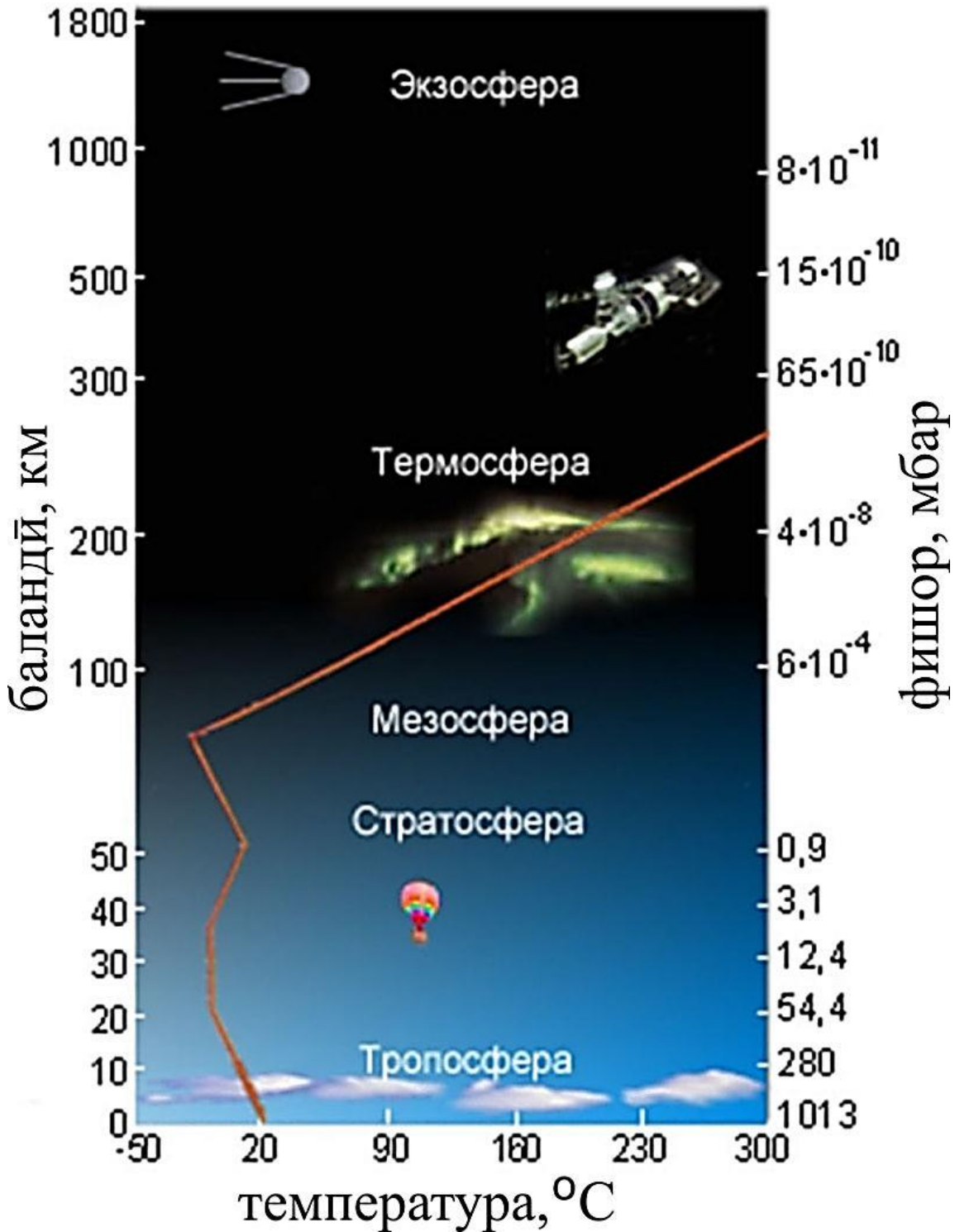
Қабати поёнии атмосфераро, ки якҷо бо Замин чарх мезанад, тропосфера (аз юн. *tropos*-тағйирот, гардиш) меноманд. Дар тропосфера наздики  $80\%$ -и ҳавои атмосфера ҷойгир аст, ғафсии қабати он аз  $8-10\text{ км}$  дар мавзёҳои наздиқутбӣ то  $17-18\text{ км}$  дар экватор тағйир меёбад ва ба ҳисоби миёна  $10-12\text{ км}$ -ро ташкил медиҳад. Дар ин қабат қариб тамоми буғҳои об ҷойгиранд ва дар он абрҳо ташкил мешаванду боришот ба амал меояд. Протсессҳои дар ин қабат гузаранда сабаби тағйирёбии иқлим мегарданд. Бо сабаби он, ки гармӣ аз тропосфера ба стратосфера (аз юн. *stratum*-қабат, фарш), мезосфера ва термосфера дар намуди радиатсия (тобиш)-и энергияи афканишот мегузарад, тақсими температура дар қабатҳои болоии атмосфера мураккаб мебошад.

Дар натиҷаи мувозинаи радиатсионӣ-конвективи атмосфера температураи миёна дар сатҳи Замин мусбат  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  аст, гарчанде тағйироти он дар мавзёҳои иқлимии гуногун  $70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ро ташкил медиҳад. Дар расми 1.30 тақсими фишор (а) ва температура (б) дар модели стандартии атмосфераи Замин тасвир шудааст.

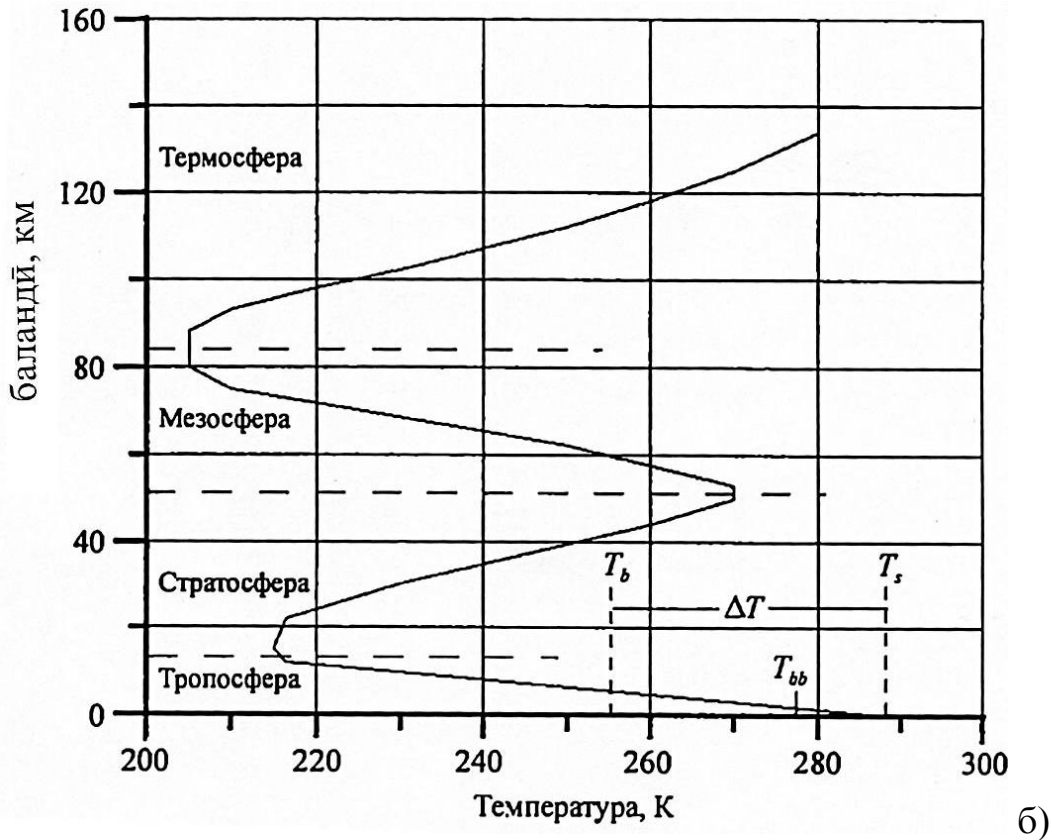
Дар байни тропосфера ва стратосфера, мезосфера ва термосфера қабатҳои гузариш, мувофиқан тропопауза бо температураи тақрибан  $190-220\text{ К}$  ва мезосфера бо температураи наздик ба  $180-190\text{ К}$  ҷойгиранд. Аз

мезосфера боло термосфера чойгир аст, ки дар он температураи газҳои ионизатсияшуда бо баландӣ то 1000 К меафзояд. Дар баландҳои аз 1000 км зиёд, термосфера мунтазам ба экзосфера мегузарад ва баъди он ба кайҳони кушод.

Атмосфераи Замин ҳудуди катъӣ надорад.



а)



Расми 1. 30

Энергияи потенциалии молекулаҳо дар майдони ҷозибай сайёра мувофиқи қонуни зерин:

$$E_n = -G \frac{mM}{r} \text{ ва } n = n_0 e^{-G \frac{mM}{kT} \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)} \quad (1.80)$$

тағйир меёбад. Дар ин ҷо  $m$ -массаи молекула,  $r_0$ ,  $M$ - радиус ва массаи сайёра. Формулаи (1.80) қонуни тақсимои концентратсияи молекулаҳои газро вобаста ба баландӣ дар майдони ҷозибай сайёра муайян мекунад.

Атмосфераи баъзе сайёраҳо дар ҳолати мувозинатӣ нестанд ва кӯшиш мекунанд, ки ба ҳолати мувозинатӣ оянд. Агар ба ҳолати мувозинатӣ оянд, молекулаҳо то беохир мунтазам тақсим мешаванд. Ҳангоми  $r \rightarrow \infty$  тақсимот чун:

$$n = n_0 e^{-G \frac{mM}{r_0 kT}}$$

сурат мегирад.

Атмосфераи баъзе сайёраҳо ба ҳолати мувозинатӣ омадаанд. Аз ҷумла, атмосфераи Моҳ пурра ба ҳолати мувозинатӣ омадааст, яъне Моҳ атмосфера надорад. Атмосфераи Миррих ба ҳолати мувозинатӣ наздик шуда истодааст. Атмосфераи дигар сайёраҳои системаи Офтобӣ ҳоло аз ҳолати мувозинатӣ дуранд. Атмосфераи Замин аз ҳолати мувозинатӣ дур аст, чунки бо баландӣ аз сатҳи Замин температураи он тағйир меёбад (расми 1.30 а,б).

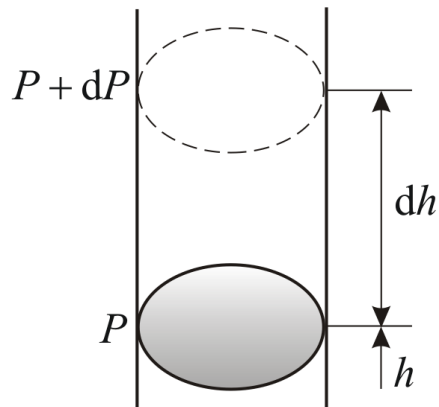
Адади молекулаҳое, ки атмосфераи сайёра тарк мекунад, ба суръати онҳо вобаста аст. Яъне, ҳамон молекулаҳое аз атмосфера мераванд, ки суръаташон аз суръати дуҷуми кайҳонӣ барои ҳамон сайёра зиёд бошад. Мувофиқи тақсироти Максвелл, адади ин гуна молекулаҳо ниҳоят кам аст, аммо дар муҳлати тӯлонӣ ин камшавиро ба назар гирифтани лозим мешавад. Ҳар қадар массаи сайёра зиёд бошад, суръати дуҷуми кайҳонӣ барои молекулаҳо ҳам зиёд мешавад. Аз ин сабаб аввал сайёраҳои сабук атмосфераашонро гум мекунанду баъд сайёраҳои вазнин.

Ҳар ду тарафи формулаи (1.79)-ро ба  $kT$  зарб зада вобастагии фишорро ба баландӣ ҳосил мекунем, ки онро формулаи барометрӣ меноманд:

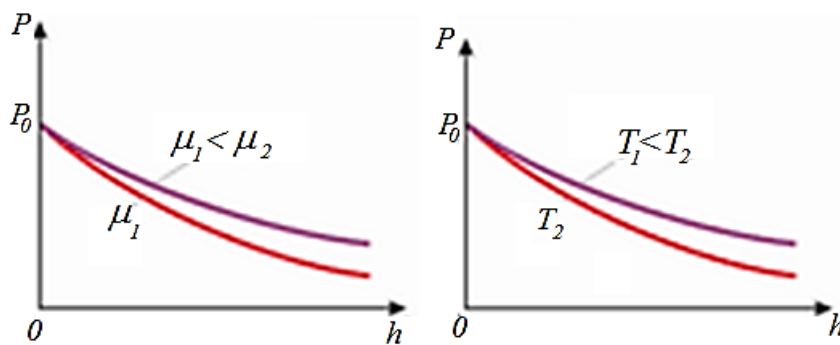
$$kTn = n_0 e^{-E_n/kT} kT, \quad P = P_0 e^{-\frac{mgh}{kT}},$$

$$P = nkT = \frac{nmkT}{m} = \frac{\rho kT}{m}, \quad \frac{m}{kT} = \frac{\rho_0}{P_0},$$

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho_0 h g}{P_0}}$$



Ҳар қадар, ки массаи молии газ зиёд ва температурааш пасттар бошад, ҳамон қадар фишори газ бо баландӣ тезтар кам мешавад (расми 1.31).



Расми 1.31

Агар фишорро дар сатҳи баҳр  $P_0 = 1,01325 \cdot 10^5$  Па ва температураро  $T_0 = 273$  К қабул намоем,

$$P(h) = 101,325 \exp\left(-\frac{h(\text{км})}{7,99}\right) \text{ кПа}$$

ҳосил мешавад. Температура бо зиёдшавии баландӣ кам мешавад ва температураи миёнаи солони Замин  $15^\circ\text{C}$  мебошад ва ба сифати формулаи барометрии байналхалқӣ барои аз сатҳи баҳр то баландии 11 км (тропосфера) ифодаи зерин қабул карда шудааст:

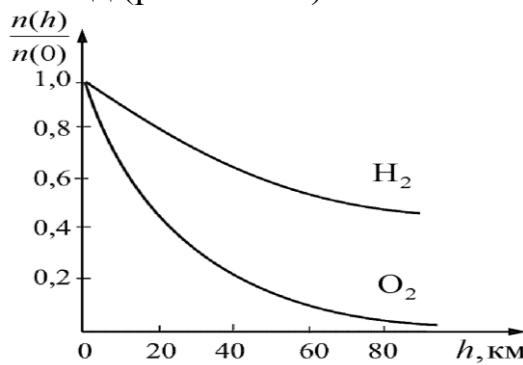
$$P(h) = 101,3 \left(1 - \frac{6,5h}{288}\right)^{5,235},$$

дар ин ҷо  $h$  бо км ва  $P$  бо кПа ифода шудааст. Барометре, ки махсус ба баландӣ аз сатҳи баҳр дараҷабандӣ шудааст, алтиметр (аз итол. alto ва лотинии altus- баланд) ном дорад.

Концентрацияи молекулаҳои сабук назар ба молекулаҳои вазнин вобаста ба баландӣ сусттар тағйир меёбад. Масалан, тағйироти концентрацияи молекулаҳои  $O_2$  ва  $H_2$ -ро чунин пешниҳод кардан мумкин аст:

$$\frac{n_r(h)}{n_1(h)} = (1 - 1,2 \cdot 10^{-4} h).$$

Мувофиқи ин формула дар баландии 10 км фарқи концентрацияи онҳо бояд 3 маротиба бошад (расми 1.32).



Расми 1.32

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки то баландии 105 км таркиби миқдории атмосфера якхела аст ва онро гомосфера меноманд. Қабатҳои аз он болоро гетеросфера (аз юн. heteros-дигар, гуногун) ташкил мекунад. Дар қабатҳои болоии атмосфера концентрацияи молекулаҳои  $O_2$  ва  $N_2$  нисбат ба  $H_2$  ва  $He$  ниҳоят кам аст. Қариб ҳамаи газҳо дар намуди атомӣ вомехӯранд.

### § 1.19. Баробартаксимшавии энергия ба дараҷаҳои озод

Адади координатҳои новобастае, ки ҳолати системаро муайян мекунад, адади дараҷаҳои озод меноманд. Агар масофаи байни атомҳо дар молекула тағйир наёбад, адади дараҷаҳои озоди молекулаҳои якатома  $i=3$ , дуатома  $i=5$  ва молекулаҳои сеатома ва аз он зиёд 6 аст (3-тояш ҳаракати пешравандаро тавсиф медиҳанду 3-тои дигараш чархзаниро). Барои молекулаҳои якатома:

$$\langle \frac{m\mathcal{G}^2}{2} \rangle = \frac{3}{2}kT, \quad \langle \mathcal{G}^2 \rangle = \langle \mathcal{G}_x^2 \rangle + \langle \mathcal{G}_y^2 \rangle + \langle \mathcal{G}_z^2 \rangle, \quad \langle \mathcal{G}_x^2 \rangle = \langle \mathcal{G}_y^2 \rangle = \langle \mathcal{G}_z^2 \rangle$$

$$\langle \mathcal{G}^2 \rangle = 3 \langle \mathcal{G}_x^2 \rangle, \quad \langle \frac{m\mathcal{G}_x^2}{2} \rangle = \langle \frac{m\mathcal{G}_y^2}{2} \rangle = \langle \frac{m\mathcal{G}_z^2}{2} \rangle = \frac{1}{2}kT.$$

Ба ҳар як дараҷаи озоди ҳаракати пешраванда ва чархзананда  $\frac{1}{2}kT$  энергия рост меояд. Агар лапшиши атомҳо дар молекула гармоникӣ ҳисоб кунем, қимати миёнаи энергияи кинетикӣ ба қимати миёнаи энергияи потенциалӣ баробар мешавад. Аммо чунин ҳолат танҳо ҳангоми энергияи

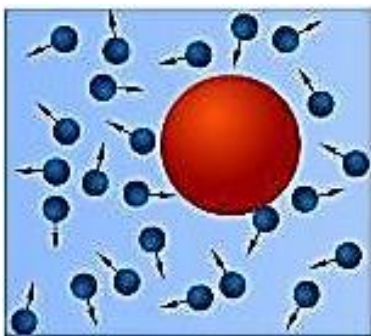


потенциалии таъсири мутақобилаи атомҳо функсияи квадрати масофаи байни онҳо будан ҷой дорад. Масалан, ҳангоми лапишҳои хурди атомҳо. Аз ин сабаб, ба ҳар як дараҷаи озоди лапиш ду маротиба зиёд, яъне  $kT$  энергия рост меояд. Адади пурраи дараҷаҳои озоди молекулаҳо  $i = i_n + i_v + 2i_r$ . Адади дараҷаҳои озоди лапиш барои молекулаҳои хаттӣ (HCN)  $i_n = 3N - 5$  ва барои молекулаҳои ғайрихаттӣ ( $H_2O, CO_2$ )  $3N - 6$ , аз ин рӯ энергияи як молекула  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$  мебошад.

### § 1.20 Ҳаракати броунӣ

Исботи бевоситаи таҷрибавии ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо ҳодисаи дар соли 1827 кашф намудаи ботаники англис Броун мебошад. Броун мушоҳида кард, ки зарраҳои майдаи дар зери микроскоп мушоҳидашаванда, ки дар моеъ муаллақанд, дар ҳаракати бефосилаи бетартибона мебошанд; зарра чи қадаре ки хурд бошад, ҳамон қадар тезтар ҳаракат мекунад. Ин ҳаракат ҳаракати броунӣ номида шуда, ҳеҷ гоҳ қатъ намегардаду ба ҳеҷ гуна сабабҳои берунӣ вобаста нест ва зоҳиршавии ҳаракати молекулаҳои модда мебошад. Ҳаракати броунӣ бо он фаҳмонида мешавад, ки бо сабаби хаотикӣ ҳаракат кардани молекулаҳо адади зарбаҳо ба зарраи муаллақ аз ҳама тараф баробар нестанд ва дар натиҷа ягон қувваи натиҷавӣ дар ягон самти муайян пайдо мешавад. Бо таъсири ин қувваи натиҷавӣ ба самти он зарра ба ҳаракат медарояд. Баъди фосилаи кӯтоҳи вақт самти қувваи натиҷавӣ тағйир меёбад ва самти ҳаракати зарра низ мувофиқан дигар мешавад. Ҳаракати бетартибонаи зарраи броунӣ инъикосгари ҳаракати хаотикии молекулаҳо мебошад. Ҳар қадар зарра хурд бошад, эҳтимоли дар натиҷаи зарбаи молекулаҳои атроф бавучудоии қувваи натиҷавӣ зиёд мешавад.

Молекулаҳои моеъ дар вақти бо ягон ҷисми сахт бархӯрдан дар натиҷаи тағйир ёфтани самти импулсашон ба он бо ягон қувва таъсир мекунанд. Агар зарраи броунӣ дар моеъ буда, нисбат ба молекулаҳои моеъ калон бошад, он гоҳ адади молекулаҳои аз ҳама тараф ба он бархӯранда низ беҳад зиёду, зарбаи онҳо якдигарро мувозинат мекунад ва зарраи броунӣ дар амал ором мемонад. Вале зарра агар ба қадри кифоя хурд бошад, таъсири молекулаҳо якдигарро пурра мувозинат карда наметавонанд: дар ягон лаҳзаи вақт тасодуфан ба зарра аз як тараф назар ба тарафи дигар адади зиёдтари молекулаҳо таъсир мекунанд ва дар натиҷа он ба ҳаракат медарояд. Зарраҳои броунӣ бо таъсири зарбаҳои бетартиби молекулаҳои моеъ маҳз ҳамин тавр ҳаракат мекунанд. Худи зарраҳои броунӣ аз молекулаҳои алоҳидаи моеъ миллиардҳо маротиба калонанд ва суръати онҳо нисбат ба суръати молекулаҳо ниҳоят кам аст. Ҳаракати ин гуна зарраҳо дар зери микроскоп мушоҳида кардан имконпазир аст.



Расми 1.33

Солҳои 1905-1906 А. Эйнштейн ва М. Смолуховский дар асоси назарияи молекулавӣ-кинетикӣ моҳияти ҳаракати броуниро маънидод карданд. Мувофиқи ин назария молекулаҳои моеъ ё газ доимо дар ҳаракати ҳароратианд ва импульси молекулаҳои гуногун аз рӯи бузургӣ ва самт гуногун мебошанд. Дар натиҷаи «бомбаборон» кардани молекулаҳои муҳит дар ягон самт қувваи натиҷавӣ аз сифр фарқ мекунад зарраи броуни

ба ҳамон самт ба ҳаракат мебарояд (расми 1.33) ва бузургию самти суръати ҳаракати худро дар як сония  $10^{14}$  маротиба тағйир медиҳад. Агар андозаи зарра калон бошад, зарра дар натиҷаи зарбаҳои молекулаҳои муҳит ба мувозинат омада, дар ҳолати ором мемонад. Ҳаракати броуни бо қонуни Эйнштейн барои квадрати миёнаи кӯчиши зарра аз рӯи самти  $X$  тавсиф дода мешавад.

Назарияи микдории ҳаракати броуниро, ки новобаста ба яқдигар Эйнштейн ва Смолуховский офаридаанд, муҳокима менамоем. Ҳаракати зарраро ҳамчун ҳаракати ҷисми курашакл дар моеи часпак тасаввур кардан мумкин аст. Проексияи кӯчиши зарраро нисбат ба ягон меҳвар (масалан,  $Ox$ ) дида мебароем. Муодилаи ҳаракати зарраро чунин сабт карда метавонем:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 + F_2 \quad (1.81)$$

Ин ҷо  $m$ -массаи зарра ва  $\frac{d^2 x}{dt^2}$ -шитоби он,  $F_1$ -қувваи натиҷавиест, ки аз таъсири зарбаҳои молекулаҳои моеъ ба вучуд меояд,  $F_2$ -қувваи муқовиматест, ки ба часпакии моеъ ва суръати ҳаракати зарра  $\frac{dx}{dt}$  вобаста мебошад:

$$F_2 = -b \frac{dx}{dt} \quad (1.82)$$

Дар асоси қонуни Стокс барои зарраи курашакл  $b = 6\pi\eta r$  аст, ки ин ҷо  $\eta$  - коэффисиенти часпакии динамикии моеъ,  $r$ -радиуси зарраи курашакли дар моеъ ҳаракаткунанда мебошанд.

Дар асоси (1.82) ва (1.83) муодилаи ҳаракати зарра чунин намуд мегирад:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 - b \frac{dx}{dt} \quad (1.83)$$

Ин муодиларо ба  $x$  зарб мезанем

$$mx \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 x - bx \frac{dx}{dt} \quad (1.84)$$

Азбаски  $\frac{1}{2} \frac{d^2}{dt^2} (x^2) = x \frac{d^2 x}{dt^2} + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$  ва  $x \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (x^2)$  мебошанд, дар асоси (1.84)

баробарии зерин ҷой дорад:

$$\frac{m}{2} \frac{d^2}{dt^2} (x^2) - m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = F_1 x - \frac{1}{2} b \frac{d}{dt} (x^2) \quad (1.85)$$

Ба мо танҳо қимати миёнаи ин бузургиҳоро доништан кифоя аст, ки онро дар муддати вақти  $\Delta t$  мушоҳида мекунам:

$$\frac{m}{2} \frac{d^2}{dt^2} \langle x^2 \rangle - m \langle \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = \langle F_1 x \rangle - \frac{1}{2} b \frac{d}{dt} \langle x^2 \rangle \quad (1.86)$$

Қимати миёнаи кӯчиши зарра  $\langle x \rangle$  баробари сифр мешаваду қимати миёнаи квадрати кӯчиш  $\langle x^2 \rangle \neq 0$ . Барои адади зиёди зарраҳо  $x$  ва  $F_x$  бо такроршавии якхела ҳам ба қиматҳои мусбат ва ҳам ба қиматҳои манфӣ доро гардида метавонанд, аз ин рӯ  $\langle x F_x \rangle = 0$ . Эҳтимолияти майли зарраи броунӣ дар ҳамаи самтҳо баробар аст:

$$\langle x^2 \rangle = \langle y^2 \rangle = \langle z^2 \rangle = \langle r^2 \rangle / 3$$

Агар дар фосилаи вақти байни ду андозагирӣ теъдоди зарбаҳои зарраҳои броунӣ бо молекулаҳо ниҳоят зиёд бошад, масофаи кӯчиш ба тӯли ҳамин вақт мутаносиб ҳисобидан раво аст:  $\langle r^2 \rangle \sim t = at$ . Ин ҷо  $a$ -коэффисиенти мутаносубӣ аст. Пас,  $\langle x^2 \rangle = at/3$  ва мувофиқан

$$\frac{d}{dt} \langle x^2 \rangle = a/3, \quad \frac{d^2}{dt^2} \langle x^2 \rangle = 0$$

мебошанд. Аз ин рӯ муодилаи (1.86) намуди зерин мегирад:

$$\langle m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = ab/6. \quad (1.87)$$

Азбаски ҳаракати зарра пурра бетартибона мебошад, қимати миёнаи ташкилдиҳандаҳои суръат нисбати ҳар се меҳварҳои координатӣ ба ҳамдигар баробаранд, яъне  $\langle \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = \langle \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \rangle = \langle \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 \rangle$ .

Акнун  $\langle \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle + \langle \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \rangle + \langle \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 \rangle = \langle \vartheta^2 \rangle$  буданаширо ба эътибор мегирем, ки ин ҷо  $\langle \vartheta^2 \rangle$  - қимати миёнаи квадрати суръати зарра ва

$$\langle \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle \vartheta^2 \rangle$$

ҳисобидан раво аст.

Ҳамин тавр,

$$m \langle \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle m \vartheta^2 \rangle = \frac{2}{3} \frac{m \langle \vartheta^2 \rangle}{2},$$

ки дар ин ҷо  $\frac{m \langle \vartheta^2 \rangle}{2}$  - қимати миёнаи энергияи кинетикии зарраи броунӣ мебошад.

Зарраҳои броунӣ бо молекулаҳои моеъ ё газ бархӯрда бо онҳо мубодилаи энергия мекунам ва бо муҳите, ки дар он ҷойгиранд, дар мувозинати ҳароратӣ мебошанд. Аз ин сабаб, қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии зарраҳои броунӣ бояд ба қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои газ ё моеъ  $\frac{3}{2} kT$  баробар бошад:

$$\langle m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \rangle = kT. \quad (1.88)$$

Барои шитоби  $a$  аз муодилаҳои (1.87) ва (1.88) баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$a = 6kT/b, \quad (1.89)$$

ин ҷо  $b$  қувваи соиши моеъро, ки ба зарраи броунӣ таъсир мекунад, тавсиф медиҳад ва онро назариявӣ (бо формулаи Стокс) ифода кардан, дар таҷриба чен кардан ё маълум ҳисобидан мумкин аст. Температура  $T$ -ро маълум ҳисобидан равог. Аз ин  $r^2$ , формулаи (1.87) бо назардошти (1.89) масъалаи ҳаракати броунии зарраҳои муаллақро ҳал мекунад:

$$\langle r^2 \rangle = 6kTt/b. \quad (1.90)$$

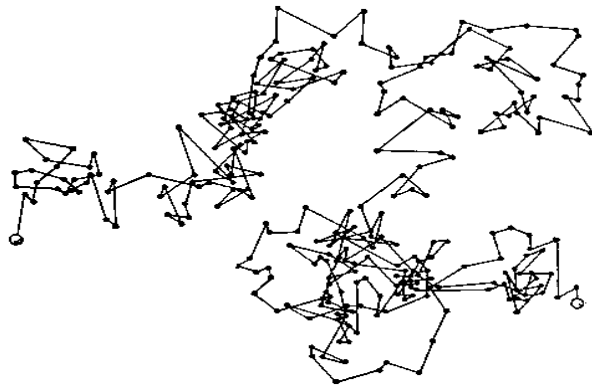
Агар  $k$ -ро муайяншуда ҳисоб кунем (ҳангоми тафтиши таҷрибаии тақсимои Болсман), ҳамаи дигар бузургиҳо дар ин формула маълуманд ва онро дар таҷриба санҷидан мумкин аст. Дар таҷрибаҳои аз соли 1908 сар карда гузарондаи Ж.Б. Перрен (1870-1942) дурустии ин формуларо пурра тасдиқ намуд. Ин формуларо асоснок ҳисобида, онро барои аниқ кардани бузургии доимии Болсман истифода бурдан мумкин аст. Ин гуна тафтишро Перрен гузаронида буд ва мувофиқати хуби он бо бузургии аз тафтиши тақсимои Болсман ба даст омада тасдиқ шуд. Ҳамин буд, ки ин таҷрибаҳо дурустии назарияи молекулавӣ-кинетикӣ сохти моддаро нишон доданд.

Ҳангоми истифодаи формулаи (1.90) саволе ба миён меояд, ки тарафи чапи он ба масса вобаста нест:

$$\langle r^2 \rangle = kTt/(\pi\eta r) \quad (1.91)$$

Аз тарафи дигар, суръати миёнаи зарра дар мавриди баробар будани энергияи миёнашон бо афзоиши масса кам мешавад ва аз ин сабаб, дар шароити якхела зарраҳои вазнин назар ба сабук кам меларзанд. Дар ҳақиқат чунин аст, аммо дар таҷриба натиҷаи якхела ҳосил мешавад, яъне дар муддати вақти баробар ба ҳамон як масофа мекӯчанд.

Дар расми 1.34 мавқеи зарраҳои алоҳидаи броунӣ ҳангоми дар зери микроскоп пас аз фосилаҳои баробари вақт қайд кардан тасвир шудааст.



Расми 1.34.

Ҳамин тариқ, модда на танҳо аз зарраҳои алоҳида иборат аст, балки онҳо мунтазам дар ҳаракатанд. Ин нуктаҳо асоси назарияи молекулавӣ-кинетикӣро ташкил медиҳанд.

Усули муайян кардани адади Авогадро, ки Перрен татбиқ карда буд, ба мушоҳидаи кӯчиши зарраҳои броунӣ асос ёфтааст. Фарз кунем, ки мо проексияи кӯчиши зарраҳои броуниро дар меҳвари ихтиёрӣ равоабудаи ОХ мушоҳида мекунем ва дар давоми вақти мушоҳидаи  $t$

проексияи кӯчиш дар ин тир  $x$  бошад. Агар ин гуна проексияҳои  $x$  барои зарраҳои зиёди броунӣ чен карда шавад, он гоҳ, тавре ки Эйнштейн нишон дод, қимати миёнаи квадрати  $x$  таносуби зеринро қаноат мекунонад:  $\langle x^2 \rangle = kTt / (3\pi\eta r N_A)$ . Азбаски ҳамаи бузургиҳои дар ин формула бударо (ғайр аз  $N_A$ ) бевосита чен кардан имкон дорад, ин формула имконият медиҳад, ки адади Авогадро аз натиҷаҳои таҷрибавӣ муайян карда шавад. Андозагириҳои Перрен нишон доданд, ки адади Авогадро бузургии тартиби  $6 \cdot 10^{23}$  зарра дар як мол мебошад. Доимии Болсман низ аз ин таҷрибаҳо муайян карда шуда буд.

Аз формулаи (1.90) бармеояд, ки квадрати кӯчиши зарраи броунӣ ба муддати вақти аз ибтидои мушоҳидаи он гузашта мутаносуб мебошад. Хислати ҳаракати броунӣ ба хосиятҳои моеъ ё газ, ки дар он зарра муаллақ аст, вобаста буда, ба хосиятҳои моддаи худ зарра вобаста нест. Суръати ҳаракати зарраи броунӣ бо баландшавии температура ва ҳарчӣ хурд будани андозаи он меафзояду бо зиёд гардидани часпакии моеъ кам мешавад. Агар қабул намоем, ки ҳаракати зарраҳои муаллақ дар натиҷаи зарбаҳо аз ҷониби молекулаҳои бетартибона ҳаракатманди моеъ ё гази зарра чойгир-буда ба амал меояд, ҳамаи ин қонуниятҳоро ба осонӣ шарҳ додан мумкин аст.

### Намунаи ҳалли масъалаҳо

1.1. Массай молекулаи нитроген ( $N_2$ )–ро ёбед.

*Ҳал:* Барои нитроген  $M_r = 2 \cdot 14 = 28$  буданаширо ба эътибор мегирем. Аз ин рӯ массай молекулаи алоҳидаро ёфтани душвор нест:

$$m_{N_2} = m_B M_H = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 28 = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

1.2. Як килограмм мис чанд атом дорад?

*Ҳал:* Массай молии мис  $M = 63,543 \cdot 10^{-3}$  кг/мол аст. Адади атомҳои мис

$$N = \frac{m}{M} N_A = \frac{1 \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{63,543 \cdot 10^{-3}} = 9,5 \cdot 10^{18} \text{ буданаш маълум мегардад.}$$

1.3. Зичии алюминий  $2700 \text{ кг/м}^3$ . Дар  $1 \text{ см}^3$ -и алюминий чанд атом ҳаст?

Маълумот:

$$\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$$

$$V = 1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$M = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

N-?

*Ҳал:*

$$N = \frac{\rho V N_A}{M} = 6 \cdot 10^{22} \text{ атом.}$$

*Ҷавоб:*  $N = 6 \cdot 10^{22}$  атом.

1.4. Бузургиҳои таҷрибавии зичии об ва мисро дар шароити нормалӣ истифода бурда, ба диаметрҳои молекулаи об ва атоми мис баҳо диҳед.

*Ҳал.* Бигузур дар моддаи массаш  $m$  ба қадри  $\nu$  мол зарра бошад. Он гоҳ зичии ин модда  $\rho = m/V = M/V_m$  буданаширо ба эътибор мегирем. Аз ин ҷо ҳаҷми ишғолкардаи як мол модда  $V_m = \frac{M}{\rho}$  аст.

Чунин мепиндорем, ки дар шароити нормалӣ молекулаҳои об ва атомҳои мис зич ҷойгир шудаанд, аз ин  $\bar{r}_V$  ҳаҷми ишғолкардаи як молекула:  $V_1 = M/(\rho N_A)$ , ин ҷо  $N_A$  – адади Авогадро мебошад. Молекуларо ҳамчун кураи дар куби ҳаҷмаш  $V_1$  ҷойгирбуда тасаввур карда, диаметри молекуларо ба тегаи он баробар меҳисобем, яъне

$$d = \sqrt[3]{V_1} = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}. \quad (1)$$

Аз ин  $\bar{r}_V$  диаметри молекулаҳои об:

$$d = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot 10^{-3}}{10^3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \approx \sqrt[3]{30 \cdot 10^{-30}} \approx 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м};$$

диаметри атоми мис:

$$d = \sqrt[3]{\frac{63,546 \cdot 10^{-3}}{8,96 \cdot 10^3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \approx \sqrt[3]{11,78 \cdot 10^{-30}} \approx 2,28 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

буданашон маълум мегардад.

Ҳисобкуниҳое, ки қимати таҷрибавии дигар бузургиро (коэффисиенти часпакӣ, дарозии миёнаи дави озод ва ғ.)-ро истифода бурдаанд, тақрибан чунин натиҷаҳо медиҳанд. Ба сифати намуна дар ҷадвал диаметри эффективии молекулаҳо оварда шудааст, ки аз таҷрибаҳои андозагирии коэффисиенти часпакӣ ва аз қимати зичии моеъ, ё ки кристалл бо формулаи (1) ҳисоб карда шудаанд:

Молекула	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
d; 10 <sup>-10</sup> м	3,60	2,96	3,16	4,60	2,72

1.5. Нитроген (N<sub>2</sub>)-ро дар шароити нормалӣ гази идеалӣ ҳисобидан мумкин аст ё не? Масофаи байни молекулаҳо чӣ қадар аст?

Ҳал: Дар шароити нормалӣ зичии нитроген  $\rho = 1,251 \text{ кг/м}^3$  мебошад. Аз формулаи (1.3) концентратсияи нитрогенро меёбем:

$$n = \rho N_A / \mu = 1,251 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 28 \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Диаметри молекулаи нитрогенро аз ҷадвал мегирем:  $d = 3,16 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Он гоҳ,  $n d^3 = 2,7 \cdot 10^{25} \cdot 31,6 \cdot 10^{-30} = 0,8 \cdot 10^{-3}$ , ки бузургии аз як ниҳоят хурд мебошад. Ҳамин тавр, шарт (1.28) иҷро мешавад ва нитроген дар шароити нормалӣ гази идеалӣ мебошад. Дар ин шароит масофаи байни молекулаҳо  $r = 1/\sqrt[3]{n} = 1/\sqrt[3]{2,7 \cdot 10^{25}} = 1/3 \cdot 10^8 = 33 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ , ки аз диаметри молекулаи нитроген қариб даҳ маротиба калон ва қувваи ҷозиба дар ин масофаҳо ниҳоят кам аст.

1.6. Атмосфераи Замин дар сатҳи баҳр (дар шароити нормалӣ) аз омехтаи газҳои зерин бо фоизҳои ҳаҷмӣ иборат аст: нитроген – 78,09 %, оксиген – 20,95 %, аргон – 0,93 %, гази туршии карбон – 0,03 %, неон – 0,0018 %. Компонент (чузъ) ҳои боқимонда (гидроген, гелий, ксенон, криптон, ме-



тан ва ғ.)-ро ба назар намегиранд, чунки онҳо аз миллион ҳиссаи фоизро ташкил медиҳанд. Массай молии ҳаворо ёбед.

Ҳал. Бигузур миқдори ҳавои массааш  $m = \sum_{i=1}^5 m_i$  гирифта шуда бошад, ки  $v = \sum_{i=1}^5 v_i$  мол миқдори молекулаҳо аст, ки ин ҷо  $m_i$  ва  $v_i$  – мувофиқан масса ва адади молҳои компонентаҳои  $i$ -уми ҳаво мебошанд. Он гоҳ массай молии ҳаво чунин аст:

$$M = \frac{m}{v} = \frac{m}{\sum_{i=1}^5 v_i} = \frac{m}{\sum_{i=1}^5 m_i / \mu_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 \frac{m_i}{m} \cdot \frac{1}{\mu_i}}$$

Нисбати массаҳо ба нисбати ҳаҷму зиччиҳо  $m_i/m = \rho_i V_i / \rho V$  ифода

карда, ҳосил мекунем:  $M = \left( \sum_{i=1}^5 \frac{\rho_i}{\rho \mu_i} \cdot \frac{V_i}{V} \right)^{-1}$ , ки ин ҷо  $\rho_i$  ва  $V_i$  – мувофиқан

зичӣ ва ҳаҷмҳои ҷузъии компонентҳои  $i$ -уми ҳаво ҳастанд. Ба формулаи охирин бузургҳои додасуда  $V_1/V = 0,7809$ ,  $V_2/V = 0,2095$ ,  $V_3/V = 0,0093$ ,  $V_4/V = 0,0003$ ,  $V_5/V = 0,000018$ , инчунин, аз ҷадвал қиматҳои зичии ин газҳо (дар шароити нормалӣ): нитроген  $\rho_1 = 1,250$  кг/м<sup>3</sup>, оксиген  $\rho_2 = 1,429$  кг/м<sup>3</sup>, аргон  $\rho_3 = 1,784$  кг/м<sup>3</sup>, газҳои туршии карбон  $\rho_4 = 1,977$  кг/м<sup>3</sup>, неон

$\rho_5 = 0,900$  кг/м<sup>3</sup>, ҳаво  $\rho = 1,293$  кг/м<sup>3</sup> ва массай молии компонентҳои ҳаворо  $M_1 = 28 \cdot 10^{-3}$  кг/мол,  $M_2 = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/мол,  $M_3 = 40 \cdot 10^{-3}$  кг/мол,  $M_4 = 44 \cdot 10^{-3}$  кг/мол,  $M_5 = 20 \cdot 10^{-3}$  кг/мол гузошта, массай молии ҳаво  $M = 0,02896 = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/мол буданашро муқаррар мекунем.

1.7. Адади молекулаҳо дар 1 кг гидроген ва массай як атоми гидрогенро муайян намоед.

Маълумот:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$$

$N$  - ?

$m_0$  - ?

Ҳал:

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

$$m_0 = \frac{m}{N}$$

Ҷавоб:

$$N = 3,01 \cdot 10^{26}; m_0 = 3,32 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

1.8. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 12$  л газ воқеъ аст, ки адади молекулаҳо ба  $1,44 \cdot 10^{18}$  баробар буданашро ба эътибор гирифта, консентратсияи молекулаҳои газро муайян созед.

Маълумот: Ҳал:

$$n = \frac{N}{V} = 1,2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$$

$V = 12 \text{ л,}$	Цавоб : $1,2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ .
$N = 1,44 \cdot 10^{18}$	
$n = ?$	

1.9. Ғунҷоиши  $V$  зарфро, ки дар он газ воқеъ аст муайян намоед. Концентрацияи молекулаҳо  $n = 1,25 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$  ва адади умумиашон  $N = 2,5 \cdot 10^{23}$  буданашро ба назар гиред.

Маълумот:	Ҳал:
$n = 1,25 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$	$V = N/n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 2 \text{ л.}$
$N = 2,5 \cdot 10^{23}$	
$V = ?$	Цавоб: 2 л.

1.10. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 20 \text{ л}$  ба миқдори  $\nu = 1,5$  кмол газ воқеъ аст. Концентрацияи молекулаҳо дар зарф муайян карда шавад.

Маълумот:	Ҳал:
$V = 20 \text{ л}$	$n = \frac{N}{V}, V = \frac{N}{N_0}, n = \frac{\nu N_A}{V} = 4,52 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$
$\nu = 1,5 \cdot 10^3 \text{ мол}$	
$n = ?$	
	Цавоб: $4,52 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ .

1.11. Гази идеалӣ дар зарфи маҳкам дар шароити нормалӣ воқеъ аст. Концентрацияи молекулаҳои газро ёбед.

Маълумот:	Ҳал:
$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$n = N/V = N_A/V_m = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .
$n = ?$	Ин ҷо $V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ҳаҷми як мол газ дар шароити нормалӣ мебошад.
	Цавоб: $2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

1.12. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 5 \text{ л}$  оксиген воқеъ аст, ки концентрацияи молекулаҳоаш  $9,41 \cdot 10^{23} \text{ м}^3$  мебошад. . Массайи газ муайян карда шавад.

Маълумот:	Ҳал:
$V = 5 \text{ л}$	$\nu = m/M = N/N_A$
$n = 9,41 \cdot 10^{23} \text{ м}^3$	$m = N M / N_A = n V M / N_A = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} = 0,25 \text{ г.}$
$m = ?$	
	Цавоб: 250 мг.

1.13. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 5 \text{ л}$  нитрогени массааш  $m = 17,5 \text{ г}$  воқеъ аст. Концентрацияи молекулаҳои нитрогенро дар зарф ёбед.

Маълумот:	Ҳал: $N = N_A m/M$ ва $n = N_A m / (V M) = 7,52 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .
$V = 5 \text{ л}$	
$m = 17,5 \text{ г}$	Цавоб: $7,52 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .
$n = ?$	

1.14. Миқдори моддаи ( $\nu$ ) гидрогенро, ки зарфи ғунҷоишаш  $V = 3 \text{ л}$ -ро пур кардааст ёбед, агар концентрацияи молекулаҳои газ дар зарф ба

$2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$  баробар бошад.

Маълумот:

$$V = 3 \text{ л}$$

$$n = 2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$$

$$v = ?$$

$$v = \frac{N}{N_a}, N = nV$$

Ҳал:

$$v = \frac{nV}{N_a} = 9,97 \cdot 10^{-9} \text{ мол.}$$

Ҷавоб:  $9,97 \cdot 10^{-9} \text{ мол.}$

1.15. Дар ду зарфи ғунҷоишашон баробар газҳои гуногун воқеанд: дар зарфи якум-водород, дар дуюм-оксиген. Нисбати  $n_1/n_2$  консентратсияҳои газҳоро муайян кунед, агар массаи газҳо баробар бошад.

Маълумот:

Ҳал:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = ?$$

$$n_1 / n_2 = ?$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{mN_a}{MV}, n_1 = \frac{mN_a}{M_1V}, n_2 = \frac{mN_a}{M_2V}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1} = 16$$

Ҷавоб: 16.

1.16. Газии массааш  $m = 58,5 \text{ г}$  дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 5 \text{ л}$  воқеъ аст. Консентратсияи молекулаҳои газ  $2,2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$  мебошад. Ин кадом газ аст?

Маълумот:

Ҳал:

$$m = 58,5 \text{ г}$$

$$V = 5 \text{ л}$$

$$n = 2,2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$$

$$M = ?$$

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

$$M = \frac{mN_A}{N}$$

$$N = nV$$

$$M = \frac{mN_A}{nV} = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$$

Ҷавоб: Оксиген.

1.17. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V = 2 \text{ л}$  оксигени массааш  $m = 1,17 \text{ г}$  воқеъ аст. Консентратсияи молекулаҳо дар зарф ба  $1,1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  баробар буданаширо ба назар гирифта доимии Авогадро  $N_A$ -ро муайян намоед.

Маълумот:

Ҳал:

$$V = 2 \text{ л}$$

$$m = 1,17 \text{ г}$$

$$n = 1,1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

$$N_A = ?$$

$$N_A = NM/m = nMV/m = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$$

Ҷавоб:  $6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$ .

1.18. Дар зарф оксиген дар шароити нормалӣ воқеъ аст. Ҳангоми гармкунии то ягон температура қисме аз молекулаҳо ба атомҳо диссоциатсия шудаанд. Дарачаи диссоциатсия  $\alpha = 0,4$ . Консентратсияи зарраҳоро муайян кунед: 1)  $n_1$ - то гармкунии газ; 2)  $n_2$ -молекулаҳои оксиген баъди гармкуни; 3)  $n_3$ -атомҳои оксиген баъди гармкуни.

Маълумот: Ҳал: 1)  $n_1 = N_A/V_m = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

$$\alpha = 0,4$$

$$n_1 = ?$$

$$n_2 = ?$$

$$n_3 = ?$$

2) Баъди гармкуни  $n_2 = N_2/V = N_1(1-\alpha)/V = n_1(1-\alpha) = 1,61 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

3) Азбаски ҳар як молекула ба ду атом ҷудо мешавад

$n_3 = 2N_1\alpha/V = 2n_1\alpha = 2,15 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  мебошад.

Ҷавоб:  $2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $1,61 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $2,15 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

1.19. Дар зарфи ҳаҷмаш  $V=30$  л гази идеалӣ дар температураи  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ҷойгир аст. Баъди он ки як қисми газро ба берун сар доданд, фишори газ ба қадри  $\Delta P=0,78$  атм паст шуд (бе тағйирёбии температура). Массайи гази хо-риҷшударо муайян кунед. Зичии ин газ дар шароити нормалӣ  $\rho=1,3$  кг/м<sup>3</sup> мебошад.

Маълумот:

$$V=30 \text{ л}=3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$T=273 \text{ К}$$

$$\Delta P=0,78 \text{ атм}=7,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\rho=1,3 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta m=?$$

Ҳал:

$$\Delta m=m_1-m_2$$

Муодилаи ҳолати гази идеалиро барои ду маврид истифода мебарем:

$$P_1 V_1=m_1 R T_0 / M \quad \text{ва} \quad P_2 V_2=m_2 R T_0 / M$$

$$\text{Аз ин ҷо} \quad (P_1 - P_2) V = (m_1 - m_2) R T_0 / M = \Delta m R T_0 / M$$

$$\Delta m = \Delta P V M / (R T_0) \quad (1)$$

Барои шароити нормалӣ  $P_0 = \rho_0 R T_0 / M$  ва

$$M / R T_0 = \rho_0 / P_0 \quad (2)$$

буданаширо дониста аз формулаҳои (1) ва (2) бузургии матлубро ёфта метавонем:

$$\Delta m = \rho_0 V \Delta P / P_0 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ кг} = 30 \text{ г.} \quad \text{Ҷавоб: } 30 \text{ г.}$$

1.20. Дар зарфи маҳками ғунҷоишаш 20 л омехтаи 6 г гидроген ва 12 г гелий мавҷуд аст. Муайян намоед: а) фишор; б) массайи молии нисбии омехтаро дар зарф, агар температураи омехта 300 К бошад.

Маълумот:

$$\text{Ҳал: } P = P_1 + P_2.$$

$$V = 20 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$m_1 = 6 \text{ г} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$M_1 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$$

$$m_2 = 12 \text{ г} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$M_2 = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$$

$$P_1 = \frac{m_1 R T}{M_1 V}; \quad P_2 = \frac{m_2 R T}{M_2 V}.$$

$$P = \frac{R T}{V} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right); \quad M = \frac{R T}{P V} (m_1 + m_2).$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \text{ Ҷ/(К.мол)}$$

$$\text{а) } P=?$$

$$\text{б) } M=?$$

Ҷавоб:

$$\text{а) } P = 0,75 \text{ МПа};$$

$$\text{б) } M = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол.}$$

1.21. Зичии омехтаи газҳои гидрогени массааш 8 г ва оксигени массааш 64 г-ро дар температураи 290 К ва фишор 0,1 МПа будан муайян намоед. Газҳоро идеалӣ ҳисобед.

Маълумот:

$$m_1 = 8 \text{ г} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$m_2 = 64 \text{ г} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$T = 290 \text{ К}$$

$$P = 0,1 \text{ МПа} = 10^5 \text{ Па}$$

$$\rho=?$$

$$\text{Ҳал: } \rho = \frac{m}{V}; \quad m = m_1 + m_2; \quad P V = R T \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right);$$

$$V = \frac{R T}{P} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right); \quad \rho = \frac{(m_1 + m_2) P}{R T \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right)}.$$

$$\text{Ҷавоб: } \rho = 0,498 \text{ кг/м}^3.$$

1.22. Массайи 7 г нитроген зери фишори 0,1 МПа дар температураи 290 К ҷойгир аст. Баъди изобарӣ гармкунӣ ҳаҷмаш 10 л шуд. Муайян намоед: а)

ҳаҷми газро то васеъшавӣ; б) температураи газро баъди гармкуни; в) зичии газро то ва баъди васеъшавӣ.

Маълумот:  $M=28 \cdot 10^{-3}$  кг/мол  
 $m=7$  г  $=7 \cdot 10^{-3}$  кг  
 $P=0,1$  МПа  $=10^5$  Па  
 $T_1=290$  К  
 $V_2=10$  л  $=10^{-2}$  м<sup>3</sup>  
 $R=8,31$  Ҷ/(К мол)  
 $V_1=?$   
 $T_2=?$   
 $\rho_1=?$   $\rho_2=?$

Ҳал:  $PV_1 = \frac{m}{M}RT_1, PV_2 = \frac{m}{M}RT_2, V_1 = \frac{mRT_1}{MP}$ .

$$T_2 = \frac{MPV_2}{mR}, \rho_1 = \frac{m}{V_1}, \rho_2 = \frac{m}{V_2}.$$

Ҷавоб:

$$V_1 = 6,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$T_2 = 481 \text{ К};$$

$$\rho_1 = 1,16 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_2 = 0,7 \text{ кг/м}^3.$$

1.23. Дар зарфи ғунҷоишаш 1 л оксигени массааш 1 г ҷойгир аст. Консен-  
 тратсияи молекулаҳои оксигенро дар зарф муайян намоед.

Маълумот:  
 $M=32 \cdot 10^{-3}$  кг/мол  
 $m=1$  г  $=10^{-3}$  кг  
 $V=1$  л  $=10^{-3}$  м<sup>3</sup>  
 $R=8,31$  Ҷ/(К мол)  
 $n=?$

Ҳал:  $P = nkT, n = \frac{P}{kT},$

$$PV = \frac{m}{M}RT, \frac{P}{T} = \frac{mR}{MV}, n = \frac{mR}{MkV}.$$

Ҷавоб:  $n=1,88 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

1.24. Дар зарфи ҳаҷмаш  $V=20$  л омехтаи гидроген ва гелий дар температу-  
 раи  $t=20$  °С ва фишори  $P=2,0$  атм ҷойгир аст. Массай омехта  $m=50$  г бу-  
 данашро дониста, нисбати массай гидроген ( $m_1$ ) ба массай гелий ( $m_2$ ) дар  
 ин омехта ёфта шавад.

Маълумот:  
 $V=20$  л  $=2 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup>  
 $t=20$  °С,  $T=293$  К  
 $P=2,0$  атм  $=2,026 \cdot 10^5$  Па  
 $m=5$  г  $=5 \cdot 10^{-3}$  кг  
 $m_1/m_2=?$

Ҳал:  $m_1=v_1M_1, m_2=v_2M_2$

$$m=m_1+m_2=v_1M_1+v_2M_2 \quad (1)$$

$$v=v_1+v_2 \quad (2)$$

Аз (1) ва (2) миқдори моддаҳоро ёфта метавонем:

$$v_1=(vM_2-m)/(M_2-M_1) \quad v_2=(m-vM_1)/(M_2-M_1)$$

$$\text{Аз ин рӯ } m_1=M_1(vM_2-m)/(M_2-M_1) \quad m_2=M_2(m-vM_1)/(M_2-M_1)$$

$$m_1/m_2=(M_1/M_2)(vM_2-m)/(m-vM_1)$$

Барои омехтаи газ  $PV=mRT/\langle M \rangle = vRT$  мебошад. Аз ин рӯ

$$m_1/m_2=(M_1/M_2)(M_2-\langle M \rangle)/(\langle M \rangle - M_1) = (1-\langle M \rangle/M_2)/(\langle M \rangle/M_1 - 1) \quad (3)$$

$\langle M \rangle = (mRT)/PV = 3 \cdot 10^{-3}$  кг/мол. Қимати массай молии нисбиро ба муоди-  
 лаи (3) гузошта нисбати матлубро меёбем:  $m_1/m_2 = 0,5.$

Ҷавоб:  $m_1/m_2 = 0,5.$

1.25. Барои протсессҳои а)  $P=P_0-\alpha V^2$  ва б)  $P=P_0 \exp(-\beta V)$  температураи мак-  
 сималии имконпазирро муайян намоед.  $P_0, \alpha$  ва  $\beta$ - доимиҳои мусбатанд,  $V$ -  
 ҳаҷми як мол газ мебошад.

Ҳал: а) Барои як мол газ  $PV=RT$  ва  $V=RT/P$

$$P = P_0 - \alpha V^2 = P_0 - \alpha \left( \frac{RT}{P} \right)^2$$

$$T = \frac{P}{R\sqrt{\alpha}} \sqrt{P_0 - P} = \frac{1}{R\sqrt{\alpha}} \sqrt{P_0 P^2 - P^3}$$

Барои  $T=T_{\max}$

$$\frac{d}{dP} (P_0 P^2 - P^3) = 0 \quad P = \frac{2}{3} P_0$$

$$T_{\max} = \frac{1}{R\sqrt{\alpha}} \frac{2}{3} P_0 \sqrt{\frac{1}{3} P_0} = \frac{2}{3} \left( \frac{P_0}{R} \right) \sqrt{\frac{P_0}{3\alpha}}$$

$$\text{б) } P = P_0 e^{-\beta V} = P_0 e^{-\frac{\beta RT}{P}} \quad \frac{\beta RT}{P} = \ln \frac{P_0}{P} \quad T = \frac{P}{\beta R} \ln \frac{P_0}{P}$$

$$T = T_{\max} \quad \frac{dT}{dP} = 0 \quad \ln \frac{P_0}{P} - 1 = 0 \quad P = \frac{P_0}{e} \quad T_{\max} = \frac{P_0}{e\beta R}$$

1.26. Барои протсессе, ки дар гази идеалӣ аз рӯи қонуни  $T = T_0 + \alpha V^2$  ба амал меояд, фишори камтарини имконпазирро муайян кунед.  $T_0$  ва  $\alpha$  - доимиҳои мусбат,  $V$  - ҳаҷми як мол газ.

$$\text{Ҳал: } T = T_0 + \alpha V^2 = T_0 + \alpha \frac{R^2 T^2}{P^2} \quad P^2 = \alpha \frac{R^2 T^2}{T - T_0} \quad P = \sqrt{\alpha} \frac{RT}{\sqrt{T - T_0}}$$

$$P = P_{\min} \quad \frac{dP}{dT} = 0 \quad \sqrt{T - T_0} - T \frac{1}{2\sqrt{T - T_0}} = 0 \quad T = 2T_0$$

$$P_{\min} = \sqrt{\alpha} 2RT_0 \frac{1}{\sqrt{T_0}} = 2R\sqrt{\alpha T_0}$$

$$\text{Ҷавоб: } P_{\min} = 2R\sqrt{\alpha T_0}$$

1.27. Концентрацияи молекулаҳои гази идеалиро дар температураи  $T = 300\text{K}$  ва фишори  $P = 1\text{мПа}$  ёбед.

$$\text{Маълумот: } P = 10^{-3} \text{ Па} \quad \text{Ҳал: } n = P/(kT) = 2,42 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$$

$$T = 300\text{K}$$

$$n = ? \quad \text{Ҷавоб: } 2,42 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$$

1.28. Фишори гази идеалиро барои ду қимати температураи газ: 1)  $T = 3\text{K}$ , 2)  $T = 3\text{кК}$  муайян кунед. Концентрацияи молекулаҳои газро ба  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  баробар қабул намоед.

$$\text{Маълумот: } \quad \text{Ҳал:}$$

$$1) T = 3\text{K} \quad P_1 = nkT_1 = 414 \text{ Па}$$

$$2) T = 3 \cdot 10^3 \text{K} \quad P_2 = nkT_2 = 138 \text{ кПа}$$

$$n = 10^{19} \text{ см}^{-3} = 10^{25} \text{ м}^{-3} \quad \text{Ҷавоб: } 414 \text{ Па; } 138 \text{ Па.}$$

$$P = ?$$

1.29. Дар зарфи ғунҷоишаш 30 л дар температураи  $T = 300\text{K}$  ва фишори 5 МПа чанд молекулаи газ мавҷуд аст?

$$\text{Маълумот: } V = 30 \text{ л} \quad \text{Ҳал:}$$



T=300 K  
P=5 МПа  
N=?

$$N = \nu \cdot N_A, \quad pV = \nu \cdot RT, \quad \nu = \frac{pV}{RT}$$

$$N = \frac{pVN_A}{RT} = \frac{pV}{kT} = 3,62 \cdot 10^{25} \text{ молекула.}$$

Ҷавоб:  $3,62 \cdot 10^{25}$  молекула.

1.30. Миқдори модда ва консентратсияи молекулаҳои газро, ки дар зарфи ғунҷоишаш  $V=240 \text{ см}^3$  дар температураи  $T=290 \text{ К}$  ва фишори  $P=50 \text{ кПа}$  ҷойгир аст, муайян кунед.

Маълумот:  
 $V=24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$   
 $T=290 \text{ К}$   
 $P=5 \cdot 10^4 \text{ Па}$   
 $n=?$   
 $\nu=?$

Ҳал:  
 $pV = \nu \cdot RT;$

$$\nu = \frac{pV}{RT} = 4,98 \cdot 10^{-3} \text{ мол;}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu \cdot N_A}{V} = \frac{pN_A}{RT} = 1,25 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Ҷавоб:  $4,98 \cdot 10^{-3}$  мол;  $1,25 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

1.31. Дар зарфи ғунҷоишаш  $100 \text{ см}^3$  дар температураи  $T=300 \text{ К}$  ягон газ воқеъ аст. Агар дар натиҷаи ихроҷи газ аз зарф  $N = 10^{20}$  молекула баромада бошад, фишори газ дар зарф чӣ қадар паст мешавад?

Маълумот:  
 $V=100 \text{ см}^3$   
 $T=300 \text{ К}$   
 $N=10^{20}$   
 $\Delta P=?$

Ҳал:

$$\Delta pV = \frac{\Delta m}{M} RT \quad \Delta pV = kNT \quad \Delta p = \frac{kNT}{V} = 4,14 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Ҷавоб:  $4,14 \text{ кПа}$ .

1.32. Фишори газ ба  $1 \text{ кПа}$  ва консентратсияи молекулаҳои он ба  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  баробар аст. Бузургҳои зерин муайян карда шавад: 1) температураи газ ва 2) энергияи кинетикии миёнаи  $\langle \varepsilon_n \rangle$  ҳаракати пешравии молекулаҳои он.

Маълумот:  
 $P=10^3 \text{ Па}$   
 $n=10^{22} \text{ м}^{-3}$   
 $N=?$   
 $\langle \varepsilon_n \rangle=?$

Ҳал:

$$P = nkT \quad T = P/(kn) = 7,25 \cdot 10^3 \text{ К;}$$

$$\langle \varepsilon_n \rangle = 3kT/2 = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ Ҷ.}$$

Ҷавоб:  $7,25 \cdot 10^3 \text{ К; } 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ Ҷ.}$

1.33. Энергияи кинетикии миёнаи  $\langle \varepsilon_e \rangle$  ҳаракати пешравӣ ва қимати миёнаи  $\langle \varepsilon \rangle$  энергияи кинетикии пурраи молекулаҳои буғҳои обро дар температураи  $T=600 \text{ К}$  муайян кунед. Инчунин, энергияи кинетикии  $W$  ҳаракати пешравии ҳамаи молекулаҳоро, ки дар миқдори  $\nu=10^3$  мол буғ мавҷуданд, ёбед.

Маълумот:  
 $T=600 \text{ К}$   
 $\nu=10^3 \text{ мол}$   
 $\langle \varepsilon_n \rangle=?$   
 $\langle \varepsilon \rangle=?$

Ҳал:

$$\langle \varepsilon_n \rangle = 3kT/2 = 1,242 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$$

$$\langle \varepsilon \rangle = 3kT = 2,484 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$$

$$W = \langle \varepsilon \rangle N_A \nu = 7,48 \text{ МҶ.}$$

W-?

Ҷавоб:  $1.242 \cdot 10^{-20}$  Ҷ;  $2.484 \cdot 10^{-20}$  Ҷ;  $7.48$  МҶ.

1.34. Қимати миёнаи  $\langle \varepsilon \rangle$  энергияи кинетикии пурраи як молекулаи гелий, оксиген ва буғи обро дар температураи  $T=400$  К муайян кунед.

Маълумот:

 $T=400$  К $\langle \varepsilon \rangle = ?$ 

$$\text{Ҳал: } \varepsilon = \frac{ikT}{2}; i_1 = 3, \varepsilon = \frac{3kT}{2} = 8,28 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ,}$$

$$i_2 = 5, \varepsilon = \frac{5kT}{2} = 13,8 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ,}$$

$$i_3 = 5, \varepsilon = \frac{6kT}{2} = 3kT = 16,6 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ.}$$

Ҷавоб:  $8,28 \cdot 10^{-21}$  Ҷ,  $13,8 \cdot 10^{-21}$  Ҷ,  $16,6 \cdot 10^{-21}$  Ҷ,

1.35. Энергияи кинетикии  $\langle \varepsilon_1 \rangle$  ба ҳисоби миёна ба як дараҷаи озоди молекулаи нитроген мувофиқро дар температураи  $T=1$ кК, инчунин энергияи кинетикии миёнаи  $\langle \varepsilon_n \rangle$  ҳаракати пешравӣ,  $\langle \varepsilon_r \rangle$  ҳаракати чарҳзанӣ ва қимати миёнаи энергияи кинетикии пурраи  $\langle \varepsilon \rangle$  молекуларо ёбед.

Маълумот:

Ҳал.  $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT,$

$\frac{T = 10^3 \text{ К}}{\langle \varepsilon_1 \rangle = ?}$

$\langle \varepsilon_n \rangle = ?$

$\langle \varepsilon_q \rangle = ?$

$\langle \varepsilon_r \rangle = ?$

$\langle \varepsilon \rangle = ?$

$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT = 6,9 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ;}$

$\langle \varepsilon_n \rangle = \frac{3}{2} kT = 20,7 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ.}$

$\langle \varepsilon_q \rangle = \frac{2}{2} kT = kT = 13,8 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ;}$

$\langle \varepsilon \rangle = \frac{5}{2} kT = 34,5 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ.}$

1.36. Суръати миёнаи квадратии молекулаҳои ягон газ дар шароити нормалӣ  $480$  м/с мебошад. Дар  $1$  г ин газ чанд молекула мавҷуд аст?

Маълумот:

$v_{\text{кв}} = 480 \text{ м/с}$

$m=1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$

$T=273 \text{ К}$

$R=8,31 \text{ Ҷ/(К мол)}$

N-?

Ҳал:

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, M = \frac{3RT}{\langle v^2 \rangle}, N = \frac{mN_A}{M};$$

$$N = \frac{mN_A \langle v^2 \rangle}{3RT}.$$

Ҷавоб:  $N=2,04 \cdot 10^{22}$ .

1.37. Фишореро, ки газ ба девори зарф меоварад, муайян намоед, агар зичии газ  $0,01$  кг/м<sup>3</sup> ва суръати миёнаи квадратии молекулаҳои газ  $480$  м/с бошад.

Маълумот:

$v_{\text{кв}} = 480 \text{ м/с}$

$\rho=0,01 \text{ кг/м}^3$

P-?

Ҳал:  $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \frac{RT}{M} = \frac{\langle v^2 \rangle}{3}; PV = \frac{m}{M} RT, \rho = \frac{m}{V},$

$$P = \frac{\rho RT}{M} = \frac{\rho \langle v^2 \rangle}{3}. \text{ Ҷавоб: } P=768 \text{ Па.}$$

1.38. Энергияи кинетикии миёнаи ҳаракати пешравии молекулаҳои газеро, ки фишораш  $0,1$  Па аст, муайян намоед. Концентрацияи молекулаҳои газ  $10^{13}$  см<sup>-3</sup> мебошад.

Маълумот:

$$P=0,1 \text{ Па}$$

$$n=10^{13} \text{ см}^{-3} = 10^{19} \text{ м}^{-3}$$

$$\langle \varepsilon_n \rangle = ?$$

Ҳал:  $P = nkT, T = \frac{P}{nk};$

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}k \frac{P}{nk} = \frac{3P}{2n}. \text{ Ҷавоб: } 1,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ.}$$

1.39. Адади  $N$  молекулаҳои симоби дар ҳавои ҳаҷмаш  $V = 1 \text{ м}^3$  мавҷуд буда-ро дар бинои бо буғи симоб захролудшуда дар температураи  $t = 20^\circ \text{C}$  муайян кунед, агар фишори буғҳои сери симоб дар ин температура ба  $0,13 \text{ Па}$  баробар бошад.

Маълумот:

$$V=1 \text{ м}^3$$

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

$$P=0,13 \text{ Па}$$

$$N=?$$

Ҳал:

$$v=PV/(RT)$$

$$N=vN_A=PV/(kT)=3,22 \cdot 10^{19}$$

$$\text{Ҷавоб: } 3,22 \cdot 10^{19}.$$

1.40. Барои дастрас гардондани вакууми баланд дар зарфи шишагӣ бо мақсади газҳои ҷабдашударо баровардан, онро гарм кардан лозим мешавад. Муайян созед, ки дар зарфи сферавии радиусаш  $R=10 \text{ см}$  чӣ қадар фишор баланд мешавад, агар ҳамаи молекулаҳои ҷабдашуда аз девор ба зарф гузаранд. Қабати молекулавиро дар девор якмолекулавӣ ҳисобед, буриши арзии як молекула ба  $10^{-15} \text{ см}^2$  баробар аст. Ҳавокашӣ дар температураи  $600 \text{ К}$  ба амал меояд.

Маълумот:

$$R=10 \text{ см}$$

$$\sigma = 10^{-15} \text{ см}^2$$

$$T=600 \text{ К}$$

$$\Delta P = ?$$

Ҳал:

$$p = nkT \quad n = \frac{N}{V}, \quad \Delta p = \frac{NRT}{V}$$

Адади молекулаҳои ҷабдашуда  $N = \frac{S}{\sigma}$ , ки ин ҷо

$$S = 4\pi \cdot R^2, V = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \text{ аст. Пас,}$$

$$\Delta p = \frac{12\pi \cdot R^2 \cdot kT}{4\sigma \cdot \pi \cdot R^3} = \frac{3kT}{\sigma \cdot R} = 2,4 \text{ Па.}$$

Ҷавоб:  $2,4 \text{ Па.}$

1.41. Температураи гидрогенро ёбед, ки дар он қимати миёнаи энергияи кинетикии  $\langle \varepsilon_n \rangle$  ҳаракати пешравии молекулаҳо барои ба атомҳо тақсимшавии онҳо кифоя ҳисоб меёбад, агар энергияи диссоциатсияи молекулаи гидроген  $W_m=419 \text{ кҶ/мол}$  бошад.

Эзоҳ: энергияе, ки барои ба атомҳо ҷудо кардани ҳамаи молекулаҳои як мол газ сарф мешавад, энергияи диссоциатсияи молӣ меноманд.

Маълумот:

$$W_m=419 \text{ кҶ/мол}$$

$$T=?$$

Ҳал:

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2}kT, W = \langle \varepsilon \rangle N_a, \quad \langle \varepsilon \rangle = \frac{W}{N_a}$$

$$\frac{W}{N_a} = \frac{3}{2}kT, \quad T = \frac{2W}{3R} = 33,6 \cdot 10^3 \text{ К}$$

Ҷавоб:  $33,6 \cdot 10^3 \text{ K}$

1.42. Суръатҳои миёнаи квадратӣ  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , миёнаи арифметикӣ  $\langle v \rangle$  ва эҳтимолтарини  $v_{\text{э}}$  молекулаҳои гидрогенро ҳисоб кунед. Ҳисобро барои се қимати температура: 1)  $T=20 \text{ K}$ ; 2)  $T=300 \text{ K}$ ; 3)  $T=5 \text{ кК}$ ; иҷро намоед.

Маълумот:

1)  $T=20 \text{ K}$ ;

2)  $T=300 \text{ K}$ ;

3)  $T=5000 \text{ K}$ .

$\langle v_{\text{кв}} \rangle$ ,  $\langle v \rangle$ ,

$v_{\text{э}}?$

$$\text{Ҳал: } \langle v_{\text{кв}1} \rangle = \sqrt{\frac{3RT_1}{M}} = 500 \text{ м/с}; \langle v_{\text{кв}2} \rangle = \sqrt{\frac{3RT_2}{M}} = 1,94 \cdot 10^3$$

$$\text{м/с} = 1,94 \text{ км/с}; \langle v_{\text{кв}3} \rangle = \sqrt{\frac{3RT_3}{M}} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с};$$

$$\langle v_1 \rangle = \sqrt{\frac{8RT_1}{\pi M}} = 460 \text{ м/с}; \langle v_2 \rangle = \sqrt{\frac{8RT_2}{\pi M}} = 1,79 \cdot 10^3 \text{ м/с};$$

$$\langle v_3 \rangle = \sqrt{\frac{8RT_3}{\pi M}} = 7,3 \cdot 10^3 \text{ м/с}; \langle v_{\text{э}1} \rangle = \sqrt{\frac{2RT_1}{M}} = 407 \text{ м/с};$$

$$\langle v_{\text{э}2} \rangle = \sqrt{\frac{2RT_2}{M}} = 1,58 \cdot 10^3 \text{ м/с}; \langle v_{\text{э}3} \rangle = \sqrt{\frac{2RT_3}{M}} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Ҷавоб:  $500 \text{ м/с}$ ;  $1940 \text{ м/с}$ ;  $7900 \text{ м/с}$ ;  $460 \text{ м/с}$ ;  $1790 \text{ м/с}$ ;  $407 \text{ м/с}$ ;  $1580 \text{ м/с}$ ;  $6500 \text{ м/с}$ .

1.43. Дар кадом температура суръати миёнаи квадратии атомҳои гелий ба суръати дуҷуми кайҳонӣ  $v_2 = 11,3 \text{ км/с}$  баробар мешавад?

Маълумот:

Ҳал:

$$v_2 = 11,3 \text{ км/с}$$

$T=?$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 1,58 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 1,58 \text{ км/с}$$

$$T = \frac{v_{\text{кв}}^2 M}{3R} = 20,1 \text{ кК}.$$

Ҷавоб:  $20,1 \text{ кК}$ .

1.44. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V=4 \text{ л}$  ягон гази массааш  $m=0,6 \text{ г}$

зери фишори  $P=200 \text{ кПа}$  ҷойгир аст. Суръати миёнаи квадратии  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекулаҳои газро муайян кунед.

Маълумот:

Ҳал:

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

$$m = 0,6 \text{ г} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3PV}{m}} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\langle v_{\text{кв}} \rangle = ?$

Ҷавоб:  $2 \text{ км/с}$ .

1.45. Омехтаи гелий ва аргон дар температураи  $T=1,2 \text{ кК}$  воқеанд. Суръати миёнаи квадратӣ  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  ва энергияи кинетикии миёнаи атомҳои гелий ва аргонро муайян кунед.

Маълумот:

Ҳал:

$$T = 1,2 \text{ кК}$$

$$\langle g_{\kappa 61} \rangle = ?$$

$$\langle g_{\kappa 62} \rangle = ?$$

$$\langle \varepsilon \rangle = ?$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT = 2,48 \cdot 10^{-20} \text{ Ч}$$

$$\langle g_{\kappa 61} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M_1}} = 2,73 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\langle g_{\kappa 62} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M_2}} = 864 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҷавоб:  $2,48 \cdot 10^{-20}$  Ч, 2730 м/с, 864 м/с.

**1.46.** Гардҳои хурди дар ҳаво муаллақбуда ҳамин гуна ҳаракат мекунанд, ки агар онҳоро ҳамчун молекулаҳои ниҳоят калон тасаввур намоем. Суръати квадратии миёнаи гарди массааш  $m=10^{-10}$  г-ро муайян кунед, агар температураи ҳаво ба 300 К баробар бошад.

Маълумот:

$$m=10^{-13} \text{ кг}$$

$$T=300 \text{ К}$$

Ҳал:

$$\langle g_{\kappa 6} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 3,52 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҷавоб:  $3,52 \cdot 10^{-4}$  м/с.

$$\langle g_{\kappa 6} \rangle = ?$$

**1.47.** Суръати квадратии миёнаи  $\langle g_{\kappa 6} \rangle$  молекулаҳои оксиген назар ба суръати квадратии миёнаи чанги массааш  $m=10^{-8}$  г, ки дар байни молекулаҳои гидроген ҷойгир аст, чанд маротиба зиёд мебошад?

Маълумот:

$$m=10^{-11} \text{ кг}$$

$$\langle g_{\kappa 61} \rangle = ?$$

$$\langle g_{\kappa 62} \rangle = ?$$

Ҳал:

$$\langle g_{\kappa 61} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M_1}} \quad \langle g_{\kappa 62} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\frac{\langle g_{\kappa 61} \rangle}{\langle g_{\kappa 62} \rangle} = \sqrt{\frac{N_A m}{M_1}} = 1,37 \cdot 10^7$$

Ҷавоб:  $1,37 \cdot 10^7$  маротиба.

**1.48.** Суръати арифметикии миёнаи  $\langle g \rangle$  молекулаҳои газеро муайян намоед, ки суръати квадратии миёнааш  $\langle \theta_{\text{кв}} \rangle = 1$  км/с аст.

Маълумот:

$$\langle \theta_{\text{кв}} \rangle = 10^3 \text{ м/с}$$

$$\langle g \rangle = ?$$

Ҳал:

$$\langle g_{\kappa 6} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\langle g \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \langle g_{\kappa 6} \rangle = 920 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҷавоб: 920 м/с.

**1.49.** Суръати эҳтимолтарини  $g_0$  молекулаҳои гидрогенро дар температураи  $T=400$  К муайян кунед.

Маълумот:

Ҳал:

$T=400\text{ K}$   
 $\vartheta_3 = ?$

$$\vartheta_3 = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = 1,82 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

Ҷавоб:  $1,82 \cdot 10^3 \text{ м/с}$

1.50. Барои температураи  $170^\circ\text{C}$  а) суръати миёнаи квадратӣ ва қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳои оксиген ва б) суръати миёнаи квадратии қатраи оби диаметраш  $0,1\text{ мкм}$ -и дар ҳаво муаллақро ҳисоб кунед.

Ҳал: а)  $\langle \epsilon_k \rangle = \frac{3}{2} kT = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $\vartheta_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 420 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

б)  $\frac{1}{2} \pi d^3 \rho \vartheta_{\text{КВ}}^2 = \frac{3}{2} kT$ ;  $\vartheta_{\text{КВ}} = 3 \sqrt{\frac{2kT}{\pi d^3 \rho}} = 150 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Ҷавоб:  $470 \text{ м/с}$ ,  $610 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $150 \text{ м/с}$ .

1.51. Суръатҳои эҳтимолигарин, миёна ва миёнаи квадратии молекулаҳои газро, ки дар фишори нормалӣ зичиаш  $\rho = 1,0 \text{ г/л}$  аст, ҳисоб кунед.

Ҳал:  $\vartheta_3 = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = 450 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $\langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8P}{\pi\rho}} = 510 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $\vartheta_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = 550 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

1.52. Температураи нитрогени массааш  $10 \text{ г}$   $290 \text{ К}$  мебошад. Муайян намоед: а) энергияи кинетики миёнаи як молекула ва б) қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати чархзании ҳамаи молекулаҳои нитрогенро. Газро идеалӣ ҳисобед.

Маълумот:

$m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}$

$T = 290 \text{ К}$

$M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$

а)  $\langle \epsilon \rangle = ?$

б)  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = ?$

Ҳал:  $\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$ ,  $i = 5$ ,  $\langle \epsilon \rangle = \frac{5}{2} kT$ .

$\langle E_{\text{ч}} \rangle = \frac{i_{\text{ч}}}{2} kTN$ ;  $N = \frac{mN_A}{M}$ ;  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = \frac{i_{\text{ч}}}{2} kT \frac{mN_A}{M}$ ;

$i_{\text{ч}} = 2$ ;  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = kT \frac{mN_A}{M}$ .

Ҷавоб: а)  $\langle \epsilon \rangle = 10^{-20} \text{ Дж}$ ; б)  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = 860 \text{ Дж}$ .

1.53. Оксигени массааш  $1 \text{ кг}$  дар температураи  $320 \text{ К}$  мебошад. Муайян намоед: а) энергияи дохилии молекулаҳои оксиген ва б) қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати чархзании молекулаҳои оксигенро. Газро идеалӣ ҳисобед.

Маълумот:

$m = 1 \text{ кг}$

$T = 320 \text{ К}$

$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$

а)  $U = ?$

б)  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = ?$

Ҳал:  $U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT$ ,  $i = 5$ .

$\langle E_{\text{ч}} \rangle = \frac{i_{\text{ч}}}{2} kTN$ ;  $N = \frac{mN_A}{M}$ ;  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = \frac{i_{\text{ч}}}{2} kT \frac{mN_A}{M}$ ;

$i_{\text{ч}} = 2$ ;  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = kT \frac{mN_A}{M}$ .

Ҷавоб: а)  $U = 208 \text{ кДж}$ ; б)  $\langle E_{\text{ч}} \rangle = 83,1 \text{ кДж}$ .

1.54. Тақсимооти Максвеллро барои суръати молекулаҳо истифода бурда формулаи суръати миёнаи квадратиро ҳосил намоед.

Маълумот:

Ҳал:  $\vartheta_{\text{КВ}} = \sqrt{\langle \vartheta^2 \rangle}$ .

$$f(\vartheta) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \vartheta^2 e^{-\frac{m_0 \vartheta^2}{2kT}} \quad \langle \vartheta^2 \rangle = \int_0^\infty \vartheta^2 f(\vartheta) d\vartheta =$$

$$\vartheta_{\text{КВ}}^{-?} \quad 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^\infty \vartheta^4 e^{-\frac{m_0 \vartheta^2}{2kT}} d\vartheta.$$

Интегрални таблицагиро истифода мебарем:

$$\int_0^\infty x^4 e^{-\alpha x^2} dx = \frac{3}{8} \sqrt{\pi} \alpha^{-5/2}$$

$$x = \vartheta \quad \alpha = \frac{m_0}{2kT}, \quad \langle \vartheta^2 \rangle = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \frac{3}{8} \sqrt{\pi} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{-5/2} = \frac{3kT}{m_0}.$$

$$\vartheta_{\text{КВ}} = \sqrt{\langle \vartheta^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

1.55. Тақсимои Максвеллро барои энергия истифода бурда, формулаи энергияи миёнаи кинетикиро ҳосил намоед.

Маълумот:

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \quad \text{Ҳал: } \langle \varepsilon \rangle = \int_0^\infty \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon;$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \int_0^\infty \varepsilon^{3/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} d\varepsilon.$$

$\langle \varepsilon \rangle^{-?}$

Интегрални таблицагӣ:

$$\int_0^\infty x^{3/2} e^{-\alpha x} dx = \frac{3}{4} \sqrt{\pi} \alpha^{-5/2}.$$

$$x = \varepsilon; \quad \alpha = \frac{1}{kT};$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \frac{3}{4} \sqrt{\pi} \left( \frac{1}{kT} \right)^{-5/2} = \frac{3}{2} kT.$$

1.56. Тақсимои Максвеллро барои энергия истифода бурда, формулаи бузургии эҳтимолтарини энергияи молекулаҳоро ҳосил намоед.

Маълумот:

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \quad \text{Ҳал: } \frac{df(\varepsilon)}{d\varepsilon} = 0; \quad \frac{d}{d\varepsilon} \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \right) = 0;$$

$$\varepsilon_3^{-?} \quad \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \left( \frac{1}{2} \varepsilon^{-\frac{1}{2}} - \frac{\varepsilon^{\frac{1}{2}}}{kT} \right) = 0;$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon^{-\frac{1}{2}} - \frac{\varepsilon^{\frac{1}{2}}}{kT} = 0; \quad \varepsilon_3 = \frac{1}{2} kT.$$

1.57. Адади нисбии молекулаҳои газро, ки суръаташон ба қадри  $\delta\eta = 1\%$  аз бузургии: а) суръати эҳтимолтарин ва б) суръати миёнаи квадратӣ фарқ мекунад, муайян намоед.

$$\text{Ҳал: а) } df(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du; \quad u = \frac{\vartheta}{\vartheta_3}; \quad \frac{\delta N}{N} \left( \frac{|\vartheta - \vartheta_3|}{\vartheta_3} < \delta\eta \right) = \int_{1-\delta\eta}^{1+\delta\eta} df(u)$$



$$\frac{\delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-1} 2\delta\eta = \frac{8}{e\sqrt{\pi}} \delta\eta = 0,0166.$$

$$\begin{aligned} \text{б) } \frac{\delta N}{N} \left( \frac{|\vartheta - \vartheta_{\text{KB}}|}{\vartheta_{\text{KB}}} < \delta\eta \right) &= \frac{\delta N}{N} \left( \left| \frac{\vartheta}{\vartheta_3} - \frac{\vartheta_{\text{KB}}}{\vartheta_3} \right| < \delta\eta \frac{\vartheta_{\text{KB}}}{\vartheta_3} \right) = \frac{\delta N}{N} \left( \left| u - \sqrt{\frac{3}{2}} \right| < \delta\eta \sqrt{\frac{3}{2}} \right) \\ \sqrt{\frac{3}{2}} + \sqrt{\frac{3}{2}} \delta\eta &= \int \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du; \quad \sqrt{\frac{3}{2}} - \sqrt{\frac{3}{2}} \delta\eta = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{3}{2} e^{-\frac{3}{2}} \delta\eta = \frac{12\sqrt{3}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{3}{2}} \delta\eta \\ &= 0,0185. \end{aligned}$$

Ҷавоб: а)  $\frac{\delta N}{N} = 1,66\%$ ; б)  $\frac{\delta N}{N} = 1,85\%$ .

**1.58.** Температураи газро барои ҳолатҳои зерин муайян намоед: а) суръати миёнаи квадратии молекулаҳои гидроген аз суръати эҳтимолитарин ба қадри  $\Delta\vartheta = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  зиёд аст; б) функцияи тақсими молекулаҳои оксиген мувофиқи суръаташон  $F(\vartheta)$  дар суръати  $\vartheta = 420 \text{ м/с}$  максималӣ аст.

Ҳал: а)  $\vartheta_{\text{KB}} - \vartheta_3 = (\sqrt{3} - \sqrt{2}) \sqrt{\frac{kT}{m}} = \Delta v; \quad T = \frac{m}{k} \left( \frac{\Delta v}{\sqrt{3} - \sqrt{2}} \right)^2 = 384 \text{ К}.$

б)  $\vartheta_3 = \sqrt{\frac{2kT}{m}}; \quad T = \frac{m\vartheta_3^2}{2k} = 342 \text{ К}.$  Ҷавоб: а)  $T=384 \text{ К}$ ; б)  $T=342 \text{ К}.$

**1.59.** Барои гази нитроген: а) температурае, ки дар он барои суръатҳои  $\vartheta_1 = 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  ва  $\vartheta_2 = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  бузургии баробари функцияи тақсими Максвелл мувофиқ меояд; б) суръати молекула  $\vartheta$ , ки бузургии функцияи тақсими Максвелл  $F(\vartheta)$  барои температураҳои  $T_0$  ва  $\eta$  маротиба зиёд яхела мебошад, муайян намоед.

Ҳал: а)  $\frac{\vartheta_1^2}{\vartheta_3^2} e^{-\frac{\vartheta_1^2}{\vartheta_3^2}} = \frac{\vartheta_2^2}{\vartheta_3^2} e^{-\frac{\vartheta_2^2}{\vartheta_3^2}}; \quad \left( \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^2 = e^{\frac{\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2}{\vartheta_3^2}}; \quad 2 \ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2}{\vartheta_3^2}; \quad \vartheta_3^2 = \frac{\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2}{2 \ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}};$

$$\vartheta_3^2 = \frac{2kT}{m}; \quad T = \frac{m}{2k} \frac{(\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2)}{2 \ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}} = 330 \text{ К}.$$

б)  $F(\vartheta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{\vartheta^2}{\vartheta_3^2} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_3^2}} \frac{1}{\vartheta_3}; \quad \frac{\vartheta^2}{\vartheta_{31}^3} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_{31}^2}} = \frac{\vartheta^2}{\vartheta_{32}^3} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_{32}^2}}; \quad \vartheta_{31}^2 = \frac{2kT_0}{m}; \quad \vartheta_{32}^2 = \frac{2kT_0}{m} \eta;$

$$e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT} \left(1 - \frac{1}{\eta}\right)} = \eta^{-\frac{3}{2}} \frac{m\vartheta^2}{2kT_0} \left(1 - \frac{1}{\eta}\right) = \frac{3}{2} \ln \eta; \quad \vartheta = \sqrt{\frac{3kT_0}{m}} \sqrt{\frac{\ln \eta}{1 - \frac{1}{\eta}}}.$$

**1.60.** Дар кадом температура газе, ки аз омехтаи нитроген ва оксиген иборат аст, суръатҳои эҳтимолитарини молекулаҳои нитроген ва оксиген ба қадри  $\Delta\vartheta=30 \text{ м/с}$  фарқ мекунад?

Ҳал:  $\vartheta_{31} = \sqrt{\frac{2RT}{M_1}}; \quad \vartheta_{32} = \sqrt{\frac{2RT}{M_2}}; \quad \Delta\vartheta = \vartheta_{31} - \vartheta_{32} = \sqrt{\frac{2RT}{M_1}} \left(1 - \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}\right)$

$$T = \frac{M_1(\Delta\vartheta)^2}{2R \left(1 - \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}\right)^2} = 403,2 \text{ К.}$$

Ҷавоб:  $T=403,2 \text{ К.}$

1.61. Омехтаи гидроген ва гелий дар температураи  $T=300 \text{ К}$  чой гирифтааст. Барои кадом қиматҳои суръати молекулаҳо бузургии функсияи тақсимоми максвеллӣ  $F(\vartheta)$  барои ҳарду газ баробар мешавад?

$$\begin{aligned} \text{Ҳал: } \frac{\vartheta^2}{\vartheta_{31}^2} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_{31}^2}} &= \frac{\vartheta^2}{\vartheta_{32}^2} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_{32}^2}}; \quad \left(\frac{\vartheta_{32}}{\vartheta_{31}}\right)^2 = e^{-\vartheta^2 \left(\frac{1}{\vartheta_{32}^2} - \frac{1}{\vartheta_{31}^2}\right)} = \frac{M_1}{M_2}; \\ \ln \frac{M_2}{M_1} &= \vartheta^2 \left(\frac{M_2}{2RT} - \frac{M_1}{2RT}\right) = \vartheta^2 \frac{M_2 - M_1}{2RT} \\ \vartheta &= \sqrt{2RT \frac{\ln \frac{M_2}{M_1}}{M_2 - M_1}} = 1300 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1,3 \frac{\text{км}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Ҷавоб:  $\vartheta = 1,3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

1.62. Дар кадом температураи газ адади молекулаҳо, ки суръаташон дар ҳудуди  $\vartheta, \vartheta + d\vartheta$  мебошад, зиёдтаринанд? Массай ҳар як молекула  $m$ .

$$\begin{aligned} \text{Ҳал: } dN(u) &= \frac{4N}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du; \quad u = \frac{\vartheta}{\vartheta_3}; \quad \frac{\delta dN(\vartheta)}{\delta \vartheta_3 N \vartheta^2 d\vartheta} = 0 = \left(-3\vartheta_3^{-4} + \frac{2\vartheta^2}{\vartheta_3^3}\right) e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_3^2}}; \\ \vartheta^2 &= \frac{3}{2} \vartheta_3^2 = \frac{3RT}{M}; \quad T = \frac{1}{3} \frac{m\vartheta^2}{k}. \end{aligned}$$

1.63. Тақсимоми Максвеллро истифода бурда фишори газро ба девори зарф муайян кунед, агар консентратсияи молекулаҳо  $n$ , температура  $T$  ва массай ҳар як молекула  $m$  бошад.

$$\begin{aligned} \text{Ҳал: } dn(\vartheta_x) &= n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{m\vartheta_x^2}{2kT}} d\vartheta; \quad P = \int_0^n 2m\vartheta_x \vartheta_x dn(\vartheta_x) = \\ \int_0^n 2m\vartheta_x^2 n \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{m\vartheta_x^2}{2kT}} d\vartheta &= 2mn \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{2kT}{m} \int_0^n u^2 e^{-u^2} du = \frac{4}{\sqrt{\pi}} nkT \int_0^n x e^{-x} \frac{dx}{2\sqrt{\pi}}. \\ P &= nkT. \end{aligned}$$

1.64. Тақсимоми Максвеллро истифода бурда  $\left(\langle \frac{1}{\vartheta} \rangle\right)$  қимати миёнаи бузургии чаппай суръати молекулаҳои гази идеалиеро ҳисоб кунед, ки температурааш  $T$  ва массай ҳар як молекулааш  $m$  мебошад. Бузургии ҳосилшударо бо  $\frac{1}{\langle \vartheta \rangle}$  муқоиса кунед.

$$\begin{aligned} \text{Ҳал: } \langle \frac{1}{\vartheta} \rangle &= \int_0^\infty \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1,5} e^{-\frac{m\vartheta^2}{kT}} 4\pi\vartheta^2 d\vartheta \frac{1}{\vartheta} = 4\pi \frac{kT}{m} \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1,5} \int_0^\infty e^{-z} dz \\ \langle \frac{1}{\vartheta} \rangle &= 2 \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{0,5} = \left(\frac{2m}{\pi kT}\right)^{0,5} = \left(\frac{16}{\pi^2} \frac{\pi m}{8kT}\right)^{0,5} = \frac{4}{\pi \langle \vartheta \rangle}. \end{aligned}$$

1.65. Тақсимоми молекулаҳо аз рӯи суръат дар дастае, ки аз сӯроҳии зарф хорич мешавад, бо функцияи  $F(\vartheta) = A\vartheta^3 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}}$  ифода меёбад. Т- температураи гази дохили зарф аст. Бузургии эҳтимолитарини а) суръати молекулаҳо дар даста ва бузургии ҳосилшударо бо суръати эҳтимолитарини молекулаҳо дар зарф муқоиса кунед; б) энергияи кинетикии молекулаҳоро дар даста муайян намоед.

Ҳал: а)  $\frac{dF(\vartheta)}{d\vartheta} = 0 = 3A\vartheta^2 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} - A\vartheta^3 \frac{m\vartheta}{kT} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}}$  дар даста,  $\vartheta_3 = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$  дар зарф

$$\vartheta_3 = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

б)  $\varepsilon = \frac{m\vartheta^2}{2}$ ;  $F(\varepsilon) = A\vartheta^3 e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \frac{\partial \vartheta}{\partial \varepsilon}$ ;  $F(\varepsilon) = A \left(\frac{2\pi}{m}\right)^{1,5} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \frac{1}{\varepsilon\sqrt{2m}} = A \frac{2\varepsilon}{m^2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}$ ;

$$F'(\varepsilon) = 0; \frac{2A}{m^2} \left( e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} - \frac{\varepsilon}{kT} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \right) = 0; \varepsilon_3 = kT.$$

1.66. Функцияи тақсимоми молекулаҳо мувофиқи суръаташонро ба назар гирифта формуларо барои суръати эҳтимолтарин ҳосил намоед.

Маълумот:  $F(\vartheta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2$

Ҳал:

$$F'(\vartheta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} \left[ 2\vartheta \cdot e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} + \vartheta^2 \cdot e^{-\frac{m\vartheta^2}{2kT}} \left(-\frac{2\vartheta \cdot m}{2kT}\right) \right] = 0 \quad 1 - \frac{m\vartheta^2}{2kT} = 0 \quad \vartheta_3 = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$$

1.67. Гидроген дар шароити нормалӣ ҳаҷми  $V=1$  см<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад. Дар ин ҳаҷм адади молекулаҳо, ки суръаташон аз ягон бузургии суръати максималии  $\vartheta_{max}=1$  м/с кам аст, муайян намоед.

Маълумот: Ҳал:

$$V = 1 \text{ см}^3$$

$$\vartheta_{max} = 1 \text{ м/с}$$

$$\text{H}_2$$

$$T = 293 \text{ К}$$

$$\Delta N = ?$$

$$dN_u = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du$$

$$u = \frac{\vartheta}{\vartheta_3}; \vartheta_3 = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = 1506 \text{ м/с}; 1 \ll 1506$$

$$e^{-u^2} = 1 - u^2, u \rightarrow 0$$

$$\Delta N_u = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \int_0^{u_{max}} u^2 du = \frac{4Nu^3_{max}}{\sqrt{\pi} \cdot 3}$$

$$N = \nu \cdot N_A = \frac{PV N_A}{RT}$$

$$\Delta N = \frac{4PV \cdot N_A \cdot u^3_{max}}{3\sqrt{\pi} RT}$$

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 1,77 \cdot 8,31 \cdot 293 \cdot 3,8 \cdot 10^9} = 5,84 \cdot 10^9.$$

1.68. Формуларо барои импульси эхтимолтарини молекулаҳои гази идеалӣ ҳосил кунед.

$$p_3 = m\vartheta_3 = \sqrt{2RTm}. \quad \text{Ҷавоб: } p_3 = \sqrt{2RTm}.$$

1.69. Ҳангоми мушоҳидаи зарраҳои муаллақи гуммигут дар микроскоп ошкор карданд, ки адади миёнаи онҳо дар қабатҳои масофаи байнашон  $h=40$  мкм буда, аз ҳамдигар  $\eta=2$  маротиба фарқ мекунад. Температури муҳит  $T=290$  К. Диаметри зарра  $d$  мкм ва зичии онҳо аз зичии моеъи атрофашон ба қадри  $\Delta\rho=0,2$  г/см<sup>3</sup> зиёд аст. Аз ин маълумот адади Авогадорро муайян намоед.

$$\text{Ҳал: } F = \frac{\pi}{6} d^3 \Delta\rho g = \frac{RT \ln \eta}{N_A h}; \quad N_A = \frac{6RT \ln \eta}{\pi d^3 g h \Delta\rho}; \quad N_A = 6,36 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{мол}}.$$

1.70. Массай зарраҳои гард, ки дар ҳаво муаллақанд,  $10^{-18}$  г мебошад. Ҳангоми ба қадри  $\Delta h=10$  м боло баромадан консентратсияи он чанд маротиба кам мешавад? Температури ҳаво  $T=300$  К.

Маълумот:

$$m=10^{-21} \text{ кг}$$

$$\Delta h=10 \text{ м}$$

$$T=300 \text{ К}$$

$$\frac{n_0}{n} = ?$$

Ҳал:

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) - \text{формулаи Болсман}$$

$$\frac{n_0}{n} = \exp\left(\frac{mgh}{kT}\right) \quad n_0/n = e^{23,7}$$

Ҷавоб:  $e^{23,7}$  маротиба.

1.71. Зарраҳои якхелаи массай ҳар кадомаш  $m=10^{-12}$  г дар майдони ҷозибай якҷинсаи шадидияташ  $G=0,2$  мкН/кг таксим шудаанд. Нисбати  $n_1/n_2$  консентратсияи зарраҳоеро, ки дар савияҳои эквипотенсиалии аз ҳамдигар ба масофаи  $\Delta z=10$  м ҷойгиранд, муайян кунед. Температура  $290$  К дар ҳамаи қабатҳо якандоза аст.

Маълумот:

$$m=10^{-12} \text{ г}$$

$$G=0,2 \text{ мкН/кг}$$

$$\Delta z=10 \text{ м}$$

$$T=290 \text{ К}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = ?$$

Ҳал:

$$1) \quad n = n_0 \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right)$$

Ин ҷо  $g$ -шиктоби афтиши озод

$g=G$ -шадидияти майдон. Он гоҳ дар баландии  $z_1$ :

$$n_2 = n_0 \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right) \quad n_1 = n_0 \exp\left(-\frac{mGz_1}{kT}\right)$$

Дар баландии  $z_2 = z_1 + \Delta z$ :

$$n_2 = n_0 \exp\left(-\frac{mG(z_1 + \Delta z)}{kT}\right)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\left(\frac{mG\Delta z}{kT}\right) = 1,65. \quad \text{Ҷавоб: } \frac{n_1}{n_2} = 1,65.$$

1.72. Массай  $m$  ҳар як зарраи дар ҳаво муаллақ 1аг (аттограмм) мебошад. Нисбати консентратсияи  $n_1$  зарраи гард дар баландии  $h_1=1$  м ба консентратсияи  $n_0$  онҳо дар баландии  $h_0=0$  ба 0,787 баробар аст. Температури

ҳаво  $T=300$  К. Бо истифода аз ин маълумот қимати доимии Авогадроро муайян намоед.

Маълумот:

$$m=10^{-18} \text{ кг}$$

$$h=1 \text{ м}$$

$$n_1/n_0=0,787$$

$$h_0=0$$

$$T=300 \text{ К}$$

$$N_A=?$$

Ҳал:

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

$$n_1/n_0=0,787=\exp(-mgh/kT)=\exp(-mghN_A/RT)$$

$$\ln 0,787 = -\frac{mghN_A}{RT}$$

$$N_A = -\frac{RT \ln 0,787}{mgh} = 5,97 \cdot 10^{19} \frac{1}{\text{мол}}$$

1.73. Қуввае, ки ба зарраи дар майдони берунаи якҷинсаи ҷозиба таъсир мекунад, муайян кунед, агар нисбати  $n_1/n_2$  концентратсияи зарраҳо дар савияҳои дар масофаи  $\Delta z=1$  м ҷойгирбуда ба  $e$  баробар бошад. Температураро доимӣ ва баробари  $300$  К ҳисобед.

Маълумот:

$$n_1/n_2 = 2,7$$

$$\Delta z = 1 \text{ м}$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$F = ?$$

Ҳал:

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$n_2$$

$$\frac{mgh}{RT} = 1, h = \Delta z$$

$$F = mg = \frac{RT}{h} = 2493 \text{ Н}$$

Ҷавоб: 2,5 кН.

1.74. Ҳангоми мушоҳида аз сатҳи Замин ба баландии  $h=100$  м бардоштан фишори атмосферии  $P_0=100$  кПа чӣ қадар кам мешавад? Температураи ҳаво  $290$  К ва бо баландӣ тағйир намеёбад.

Маълумот:

$$P_0=10^5 \text{ Па}$$

$$h=100 \text{ м}$$

$$M=29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$\Delta P=?$$

Ҳал:

Аз формулаи барометрӣ

$$P=P_0 \exp(-Mgh/RT)$$

$$\Delta P=P_0 (1-e^{-Mgh/RT})=1185,8 \text{ Па}$$

Ҷавоб: 1185,8 Па.

1.75. Дар кадом баландии  $h$  аз сатҳи Замин фишори атмосферӣ назар ба сатҳи он ду маротиба кам мешавад? Температураи ҳаво  $290$  К ва бо баландӣ тағйир намеёбад.

Маълумот:

$$P=P_0/2$$

$$T=290 \text{ К}$$

$$h=?$$

Ҳал:

$$P=P_0 \exp(-Mgh/RT)=P_0/2$$

$$\frac{Mgh}{RT} = \ln \frac{1}{2}; h = \frac{RT \ln 2}{gM} = 5,76 \text{ км}$$

Ҷавоб: 5,76 км.

1.76. Барометр дар кабинаи чархболи дар парвозбуда фишори  $P=90$  кПа - ро нишон медиҳад. Чархбол дар кадом баландӣ парвоз карда истодааст,

агар дар майдони парвоз барометр фишори  $P_0=100$  кПа -ро нишон диҳад? Температураи ҳаво  $290$  К асту бо баландӣ тағйир намеёбад.

Маълумот:

$$P_0=100 \text{ кПа}$$

$$P=90 \text{ кПа}$$

$$T=290 \text{ К}$$

Ҳал:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{Mgh}{RT}}; \ln e^{-\frac{Mgh}{RT}} = \ln \frac{P}{P_0} - \frac{Mgh}{RT};$$

$$h = -\frac{RT \ln(P/P_0)}{Mg}$$

$h=?$

$$h = -\frac{\ln(9 \cdot 10^4 \text{ Па} / 10^5 \text{ Па}) \cdot 8,31 \cdot 290 \text{ К}}{29 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{мол} \cdot 9,81 \text{ м} / \text{с}^2}$$

Ҷавоб:  $h=892$  м.

1.77. Фарқи баландиҳои  $\Delta h$ -ро, ки ба тағйирёбии фишор  $\Delta P=100$  кПа мувофиқ меояд, барои ду ҳолат ёбед: 1) дар наздикии сатҳи Замин, ки он ҷо температура  $T_1=290$  К, фишор  $P_1=100$  кПа ва 2) дар ягон баландӣ, ки он ҷо температура  $T_2=220$  К, фишор  $P_2=25$  кПа мебошад.

Маълумот:

$$\Delta P=100 \text{ кПа}$$

$$T_1=290 \text{ К}$$

$$P_1=100 \text{ кПа}$$

$$T_2=220 \text{ К}$$

$$P_2=25 \text{ кПа}$$

$$\Delta h_1=?$$

$$\Delta h_2=?$$

$$\text{Ҳал: } P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \quad P_1 = P_0 e^{-\frac{Mgh_1}{RT}} \quad P_2 = P_0 e^{-\frac{Mgh_2}{RT}} \quad \Delta P = P_1 - P_2 = P_0 e^{-\frac{Mg\Delta h}{RT}}$$

$$\frac{P_0}{P} = e^{\frac{Mgh}{RT}}$$

$$\Delta h = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{P_0}{\Delta P}$$

$$\Delta h_1 = 8,75 \text{ м.} \quad \Delta h_2 = 25,8 \text{ м.}$$

Ҷавоб:  $8,75$  м;  $25,8$  м.

1.78. Барометри дар кабинаи самолёти дар парвозбуда ҳама вақт фишори якандозаи  $p = 80 \text{ кПа}$  -ро нишон медиҳад, сарнишин чунин меҳисобад, ки баландии парвоз  $h$  бетағйир аст. Температураи ҳаво дар ин муддат ба  $\Delta T=1$  К тағйир ёфтааст. Дар қайди баландӣ сарнишин ба чӣ қадар сахв ( $\Delta h$ ) роҳ дод? Чунин ҳисобед, ки температура ба баландӣ вобаста нест ва дар сатҳи Замин фишор  $P_0 = 100 \text{ кПа}$  аст.

Маълумот:

$$P=8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$P_0=10^5 \text{ Па}$$

$$\Delta T=1 \text{ К}$$

$$\Delta h=?$$

$$\text{Ҳал: } \Delta T=T_2-T_1 \quad \Delta h=h_2-h_1 \quad P=\text{const}$$

$$P=P_0 \exp(-mgh_1/kT_1) \quad P=P_0 \exp(-mgh_2/kT_2)$$

$$\Delta h=R(T_2-T_1) \ln(P_0/P)/Mg = R\Delta T \ln(P_0/P)/Mg = 6,5 \text{ м.}$$

Ҷавоб:  $6,5$  м.

1.79. Ротори центрифуга бо суръати кунҷии  $\omega$  чарх мезанад. Функцияи тақсимои Болсманро истифода бурда, тақсимои концентратсияи  $n$  зарраҳои массаашон  $m$ -и дар ротори центрифуга воқеъгардидаро ҳамчун функцияи масофаи  $r$  аз меҳвари чархзанӣ муқарар кунед.

$$n=n_0 \exp(-E/kT) \quad E=-m\omega^2 r^2/2 \quad n=n_0 \exp(m\omega^2 r^2/2kT).$$

1.80. Ротори центрифугае, ки бо радон пур карда шудааст, бо басомади  $n=50 \text{ с}^{-1}$  чарх мезанад. Радиуси ротор  $0,5$  м аст. Фишори газро дар девори

ротор муайян кунед, агар дар маркази он фишор  $P_0$  ба фишори атмосферии нормалӣ баробар бошад. Температураро дар тамоми ҳаҷм якандоза ва баробари 300 К ҳисобед.

Маълумот:

Ҳал:

$$n=50 \text{ с}^{-1}$$

$$P = nkT, P_0 = n_0 kT$$

$$a=0,5 \text{ м}$$

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{4\pi^2 n^2 a^2 M}{2RT}\right)$$

$$T=300 \text{ К}$$

$$M=0,222 \text{ кг/мол}$$

$$P=?$$

$$P = nkT \rightarrow n = \frac{P}{kT}$$

$$P = P_0 e^{-\frac{4\pi^2 n^2 a^2 M}{2RT}} = 0,33P_0 = 3,3 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Ҷавоб: 33 кПа.

1.81. Зарфи силиндрии баланди пури нитроген буда дар майдони гравитатсионии якҷинса ҷойгир аст. Шитоби афтиши озод дар ин майдон  $g$ . Температураи нитроген бо баландӣ чунон тағйир меёбад, ки зичӣ дар ҳама ҷо якандоза аст. Градиенти температура  $\frac{dT}{dh}$  ёфта шавад.

Ҳал: Аз шарти мувозинатӣ:

$$Sdh\rho g + (P + dP)S = PS$$

$$dP = -\rho g dh \quad \frac{dP}{dh} = -\rho g \quad P = \frac{\rho RT}{M}$$

$$\frac{dP}{dh} = \frac{\rho R dT}{M} \quad \frac{\rho R dT}{M} = -\rho g dh$$

$$\text{Аз ин ҷо } \frac{dT}{dh} = -\frac{gM}{R} = -33,69 \cdot 10^{-3} \frac{\text{К}}{\text{м}}$$

Ҷавоб: Дар ҳар 1 км температура тақрибан 34 °С паст мешавад.

1.82. Бигузур фишор ва зичӣ новобаста ба баландӣ ҳамчун  $P/\rho^n = \text{const}$  та-

носуб дошта бошанд ( $n$ -доимӣ). Градиенти температураро муайян кунед.

Ҳал: Аз ҳалли масъалаи пешина истифода мебарем:

$$\frac{dP}{dh} = -\rho g; \quad P = C\rho^n; \quad \frac{dP}{d\rho} = Cn\rho^{n-1}; \quad P = \rho \frac{RT}{M}; \quad C\rho^n = \rho \frac{RT}{M}; \quad T = \frac{M}{R} C\rho^{n-1}$$

$$\frac{dT}{d\rho} = \frac{M}{R} C(n-1)\rho^{n-2}; \quad \frac{dT}{dh} = \frac{dT}{d\rho} \frac{d\rho}{dP} \frac{dP}{dh}; \quad \frac{dT}{dh} = \frac{M}{R} C(n-1)\rho^{n-2} \frac{1}{Cn\rho^{n-1}} (-\rho g) =$$

$$-\frac{Mg(n-1)}{n-1}. \quad \text{Ҷавоб: } \frac{dT}{dh} = -\frac{Mg(n-1)}{n-1}.$$

1.83. Гази идеалии массаи молиаш  $M$  дар майдони ҷозибавӣ якҷинса ҷойгир аст. Фишори газро ҳамчун функсияи баландӣ муайян кунед, агар дар  $h=0$  фишор  $P=P_0$  ва температура бо баландӣ чунин тағйир меёбад: а)  $T = T_0(1 - ah)$ ; б)  $T = T_0(1 + ah)$ . Ин ҷо  $a$ -доимии мусбат.

$$\text{Ҳал: } dP = -\rho g dh; \quad P = \frac{\rho RT}{M}; \quad \rho = \frac{PM}{RT}; \quad dP = -\frac{PMg}{RT} dh; \quad \frac{dP}{P} = -\frac{Mg}{RT} dh.$$

$$\text{а) } \frac{dP}{P} = -\frac{Mg}{RT_0} \frac{dh}{1-ah}; \quad \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{Mg}{RT_0} \int_0^h \frac{dh}{1-ah}; \quad \ln \frac{P}{P_0} = \frac{Mg}{aRT_0} \ln(1 - ah);$$



$$P = P_0(1 - ah)^{Mg/aRT_0} \quad h < 1/a.$$

$$\text{б) } \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{Mg}{RT_0} \int_0^h \frac{dh}{1+ah}; \quad \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{Mg}{aRT_0} \ln(1+ah); \quad P = P_0(1+ah)^{-Mg/aRT_0}.$$

1.84. Бигузур  $\eta_0$ - нисбати консентратсияи молекулаҳои гидроген ба консентратсияи молекулаҳои нитроген дар наздикии сатҳи Замин,  $\eta$ -ҳамин гуна нисбат дар баландии  $h=3000$  м бошад. Нисбати  $\frac{\eta}{\eta_0}$ -ро дар  $T=280$  К муайян намоед. Шитоби афтиши озод ва температураро ба баландӣ новобаста ҳисобед.

$$\text{Ҳал: } \eta = \frac{n_1}{n_2} = \eta_0 \frac{e^{-\frac{M_1gh}{RT}}}{e^{-\frac{M_2gh}{RT}}} = \eta_0 e^{\frac{(M_2-M_1)gh}{RT}}; \quad \frac{\eta}{\eta_0} = e^{\frac{(M_2-M_1)gh}{RT}} = 1,39.$$

$$\text{Ҷавоб: } \frac{\eta}{\eta_0} = 1,39.$$

1.85. Энергияи потенциалии газ дар ягон майдони марказӣ ба масофа  $r$  то маркази майдон ҳамчун  $U(r) = ar^2$  ( $a$  – доимӣ) вобаста аст. Температураи газ  $T$ , консентратсияи молекулаҳо дар маркази майдон  $n_0$ . Бузургҳои зеринро муайян намоед: а) адади молекулаҳои дар масофаҳои аз  $r$  то  $r+dr$  то маркази майдон ҷойгирбуда; б) масофаи эҳтимолитарини молекулаҳо аз маркази майдон; в) адади нисбии ҳамаи молекулаҳо, ки дар қабати аз  $r$  то  $r+dr$  ҷойгиранд; г) ҳангоми пастшавии температура  $\eta$  маротиба дар маркази майдон консентратсияи молекулаҳо чанд маротиба тағйир меёбад?

$$\text{Ҳал: } n(r) = n_0 \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right). \quad \text{а) } dN = 4\pi r^2 dr n(r) = 4\pi n_0 \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr;$$

$$\text{б) } \frac{d}{dr}(r^2 n(r)) = 0; \quad 2r - \frac{2ar^3}{kT} = 0; \quad r_3 = \sqrt{\frac{kT}{a}}.$$

в)

$$\frac{dN}{N} = \frac{4\pi n_0 \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr}{\int_0^\infty 4\pi n_0 \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr}; \quad \int_0^\infty 4\pi n_0 \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr = \left(\frac{kT}{a}\right)^{1,5} 4\pi n_0 \int_0^\infty x e^{-x} \frac{dx}{2\sqrt{x}} =$$

$$\left(\frac{kT}{a}\right)^{1,5} 2\pi n_0 \Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \left(\frac{\pi kT}{a}\right)^{1,5} n_0;$$

$$\frac{dN}{N} = \left(\frac{a}{\pi kT}\right)^{1,5} 4\pi \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr.$$

$$\text{г) } dN = N \left(\frac{a}{\pi kT}\right)^{1,5} 4\pi \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right) r^2 dr.$$

$$n(r) = N \left(\frac{a}{\pi kT}\right)^{1,5} \exp\left(-\frac{ar^2}{kT}\right)$$

$\eta^{1,5}$  маротиба меафзояд.

1.86. Аз шартҳои масъалаи пешина истифода бурда ёбед: а) адади молекулаҳо, ки энергияи потенциалиашон дар ҳудуди  $U$  то  $U+dU$  аст, б) бузургии эҳтимолитарини энергияи потенциалии молекулаҳо; ин бузургиро бо энер-

гияи потенциалии молекулаҳо дар масофаи эҳтимолитарин аз маркази майдон муқоиса намоед.

$$\text{Ҳал: } U = ar^2; r = \sqrt{\frac{U}{a}}; dr = \sqrt{\frac{1}{a}} \frac{dU}{2\sqrt{U}} = \frac{dU}{2\sqrt{aU}}; dN = n_0 4\pi \frac{U}{a} \frac{dU}{2\sqrt{aU}} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right);$$

$$dN = 2\pi n_0 a^{-1,5} U^{0,5} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) dU;$$

$$\frac{d}{dU} \left( \frac{dN}{dU} \right) = 0 = \left\{ \frac{1}{2\sqrt{U}} - \frac{U^{0,5}}{kT} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \right\}; 2U = kT; U_{\text{э}} = \frac{kT}{2}; U_{r_{\text{э}}} = kT.$$

1.87. Дар кадом баландӣ фишори ҳаво 60% аз фишор дар сатҳи баҳро ташкил медиҳад? Температураи ҳаво бетағйир ва баробари 10 °С аст.

Маълумот:

$$P = 0,6 P_0$$

$$T = 283 \text{ К}$$

$$M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$h = ?$$

$$\text{Ҳал: } P = P_0 e^{-\frac{Mg(h-h_0)}{RT}}; h_0 = 0; \frac{P}{P_0} = e^{-\frac{Mgh}{RT}};$$

$$\frac{Mgh}{RT} = -\ln \frac{P}{P_0}; h = -\frac{RT}{Mg} \ln \frac{P}{P_0} = 4,22 \text{ км.}$$

$$\text{Ҷавоб: } h = 4,22 \text{ км.}$$

### Супоришҳои инфиродӣ

Талаботҳо ба тартиб додан ва нишондодҳои умумии методӣ оид ба иҷрои супоришҳои инфиродӣ

1. Ба донишҷӯён дар ҳар нимсола корҳои инфиродии мустакилона пешниҳод мешавад. Рақами вариант бо рақами тартибии донишҷӯ дар журнали гурӯҳ мувофиқ меояд. Дар супоришҳои алоҳида барои донишҷӯён рақами ячейка бо бузургҳои додашуда бо рақами вариант мувофиқ меояд. Дар мавриди дар гурӯҳ зиёда аз 40 донишҷӯ будан, вариантро устод муайян менамояд.

2. Супоришҳоро пай дар пай аз рӯйи тартиби омӯхтани мавзӯҳо иҷро кардан лозим аст. Муҳлати пешниҳоди ҳалли масъалаҳоро омӯзгор мувофиқи силлабус эълон мекунад.

3. Ҳалли масъалаҳо дар дафтари алоҳида дар шакли хаттӣ сураат мегирад. Ҳалли ҳар як масъаларо аз саҳифаи нав сар кардан лозим аст.

4. Рақами вариант ва супориш дар ибтидои ҳал қайд мешавад.

5. Шарти масъаларо пурра, бе кӯтоҳкунӣ навистан лозим аст.

6. Ҳалли масъалаҳо дар намуди стандартӣ (меъёрӣ) оварда мешаванд:

Маълумот:	Ҳал:
Ёфта шавад:	Ҷавоб:

7. Ҳамаи бузургҳои физикавӣ бояд дар воҳидҳои СИ ифода шаванд.

8. Агар шарти масъала талаб карда бошад, расм ё схема (нақша)-ро тасвир кардан зарур аст.

9. Формулаҳои, ки бо онҳо масъала ҳал мешавад, зикр гардида тарзи татбиқи онҳоро бояд маънидод кард.

10. Ифодаи интихोие, ки барои ҳисоби бузургии матлуб лозим мешавад, ҳосил намоед. Андозанокиашро тафтиш карда, бузургҳои маълумро гузошта, бузургии матлубро ҳисоб кардан мебояд.

11. Натиҷаи ҳосилгардида таҳлил карда мешавад.

12. Ҷавоби ҳосил гардидаро алоҳида пешниҳод кардан лозим аст.

13. Ҳар як супоришро ҳимоя кардан лозим аст, яъне донишҷу бояд тарзи ҳалли супоришҳоро ба устод фаҳмонида тавонад.

### Супориши якуми инфродӣ

Гази массааш  $m$  дар зарфи ҳаҷмаш  $V$  ҷойгир аст. Миқдори модда, адади молекулаҳо, консентратсияи молекулаҳо ва массаи як молекулаи газро муайян намоед.

1. водород $m=5$ кг $V=4$ м <sup>3</sup>	2. оксиген $m=3$ кг $V=2,5$ м <sup>3</sup>	3. неон $m=0,1$ кг $V=5$ м <sup>3</sup>	4. гелий $m=0,2$ кг $V=30$ м <sup>3</sup>
5. фтор $m=10$ г $V=30$ л	6. нитроген $m=2$ кг $V=20$ л	7. CO <sub>2</sub> $m=30$ г $V=40$ л	8. хлор $m=0,4$ кг $V=10$ л
9. сулфид $m=5$ кг $V=30$ л	10. аммиак $m=0,2$ кг $V=40$ л	11. ҳаво $m=1$ кг $V=1$ м <sup>3</sup>	12. метан CH <sub>4</sub> $m=0,02$ кг $V=20$ л
13. водородхлорид $m=0,05$ кг $V=3$ м <sup>3</sup>	14. водородфторид $m=0,15$ кг $V=30$ м <sup>3</sup>	15. этан $m=150$ г $V=4$ м <sup>3</sup>	16. пропан $m=0,1$ кг $V=5$ м <sup>3</sup>
17. бутан $m=2,5$ кг $V=40$ л	18. озон (O <sub>3</sub> ) $m=0,5$ кг $V=30$ м <sup>3</sup>	19. буғи об $m=0,1$ кг $V=1$ м <sup>3</sup>	20. ксенон $m=0,5$ г $V=500$ см <sup>3</sup>
21. радон $m=0,04$ кг $V=10$ м <sup>3</sup>	22. криптон $m=0,03$ кг $V=5$ м <sup>3</sup>	23. аргон $m=12$ кг $V=30$ м <sup>3</sup>	24. CHCl <sub>3</sub> $m=0,1$ кг $V=3$ м <sup>3</sup>
25. Спирти этил C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH $m=0,5$ кг $V=2$ м <sup>3</sup>	26. Спирти метил CH <sub>3</sub> OH $m=1$ кг $V=2$ м <sup>3</sup>	27. Ацетон $m=0,02$ кг $V=3$ м <sup>3</sup>	28. CO $m=1$ кг $V=0,5$ м <sup>3</sup>
29. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> $m=0,01$ кг $V=2$ м <sup>3</sup>	30. Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> $m=0,03$ кг $V=5$ м <sup>3</sup>	31. Симоб $m=0,005$ кг $V=10$ м <sup>3</sup>	32. NO $m=0,002$ кг $V=1$ м <sup>3</sup>
33. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> $m=0,03$ кг $V=6$ м <sup>3</sup>	34. H <sub>2</sub> S $m=0,05$ кг $V=8$ м <sup>3</sup>	35. Йод $m=0,008$ кг $V=5$ м <sup>3</sup>	36. Оксиген $m=10$ кг $V=2$ м <sup>3</sup>
37. пропан $m=10$ кг $V=25$ л	38. нитроген $m=2$ кг $V=10$ л	39. CO <sub>2</sub> $m=10$ г $V=5$ л	40. водород $m=1$ кг $V=3$ м <sup>3</sup>
41. неон $m=100$ г $V=2$ м <sup>3</sup>	42. фтор $m=5$ г $V=3$ л	43. озон (O <sub>3</sub> ) $m=1,5$ кг $V=50$ м <sup>3</sup>	44. гелий $m=0,5$ кг $V=20$ м <sup>3</sup>
45. бутан $m=0,5$ кг $V=50$ л	46. аммиак $m=0,1$ кг $V=5$ л	47. хлор $m=0,1$ кг $V=2$ л	48. криптон $m=0,2$ кг $V=7$ м <sup>3</sup>

### Супориши дуҷоми инфродӣ

Массаи  $m$ -и омехтаи газҳо дар зарфи ҳаҷмаш  $V$  дар температураи  $T$  ва фишори  $P$  ҷойгир аст. Параметри номаълуми ҳолати омехтаи газҳо ва фишори парсиалии газҳои таркиби омехтаро муайян намоед.

1 $m=1$ кг нитроген – 70 % гелий – 30 % $V=3$ л; $T=273$ К; $P=?$	2 $m=400$ г гидроген – 10 % аргон – 90 % $V=?$ ; $T=273$ К; $P=200$ кПа	3 $m=0,5$ кг нитроген – 50 % гидроген – 50 % $V=10$ л; $T=?$ $P=100$ кПа	4 $m=0,1$ кг неон – 20 % гидроген – 80 % $V=5$ л; $T=293$ К; $P=?$	5 $m=0,1$ кг радон – 10 % гидроген – 90 % $V=5$ л; $T=293$ К; $P=?$
6 $m=2$ кг гелий – 60 % оксиген – 40 % $V=?$ ; $T=273$ К; $P=300$ кПа	7 $m=2,5$ кг нитроген – 20 % неон – 80 % $V=3$ л; $T=?$ $P=200$ кПа	8 $m=0,15$ кг нитроген – 30 % аргон – 70 % $V=3$ л; $T=273$ К $P=?$	9 $m=0,25$ кг гелий – 90 % неон – 10 % $V=?$ ; $T=273$ К $P=150$ кПа	10 $m=0,15$ кг ксенон – 40 % бром – 60 % $V=?$ ; $T=280$ К $P=100$ кПа
11 $m=0,2$ кг нитроген – 70 % ксенон – 30 % $V=5$ л; $T=?$ $P=250$ кПа	12 $m=2$ кг аргон – 70 % оксиген – 30 % $V=1$ л; $T=298$ К; $P=?$	13 $m=1,2$ кг нитроген – 75 % криптон – 25 % $V=?$ ; $T=293$ К $P=350$ кПа	14 $m=1$ кг криптон – 70 % оксиген – 30 % $V=2$ л; $T=?$ $P=400$ кПа	15 $m=0,15$ кг аргон – 60 % $C_2H_5OH$ – 70 % $V=4$ л; $T=330$ К; $P=?$
16 $m=1,6$ кг гидроген – 60 % криптон – 40 % $V=1,5$ л; $T=273$ К; $P=?$	17 $m=1,4$ кг ксенон – 50 % оксиген – 50 % $V=?$ ; $T=253$ К; $P=100$ кПа	18 $m=1,2$ кг озон – 60 % ксенон – 40 % $V=2$ л; $T=?$ $P=120$ кПа	19 $m=0,9$ кг гелий – 90 % аргон – 10 % $V=4$ л; $T=293$ К; $P=?$	20 $m=0,1$ кг криптон – 30 % фтор – 70 % $V=3$ л; $T=?$ $P=150$ кПа
21 $m=0,5$ кг гелий – 80 % хлор – 20 % $V=?$ ; $T=303$ К; $P=100$ кПа	22 $m=1,3$ кг гелий – 70 % йод – 30 % $V=2$ л; $T=?$ $P=150$ кПа	23 $m=0,4$ кг гелий – 90 % криптон – 10 % $V=1$ л; $T=293$ К; $P=?$	24 $m=1,6$ кг аргон – 75 % криптон – 25 % $V=?$ ; $T=283$ К; $P=120$ кПа	25 $m=0,4$ кг гелий – 50 % метан – 50 % $V=2$ л; $P=?$ $T=280$ К
26 $m=1$ кг озон – 76 % гелий – 24 % $V=1$ л; $T=273$ К, $P=?$	27 $m=1,2$ кг нитроген – 60 % неон – 40 % $V=?$ ; $T=293$ К; $P=100$ кПа	28 $m=0,5$ кг озон – 50 % неон – 50 % $V=2$ л; $T=?$ $P=120$ кПа	29 $m=1,3$ кг нитроген – 60 % аргон – 40 % $V=5$ л; $T=273$ К $P=?$	30 $m=0,45$ кг неон – 20 % атсетилен – 80 % $V=?$ ; $T=293$ К; $P=200$ кПа
31 $m=1,2$ кг буғи об – 70 % гелий – 30 % $V=4$ л; $T=273$ К; $P=?$	32 $m=1,5$ кг буғи об – 60 % неон – 40 % $V=?$ ; $T=303$ К; $P=110$ кПа	33 $m=0,7$ кг хлор – 40 % неон – 60 % $V=2,5$ л; $T=?$ $P=140$ кПа	34 $m=0,4$ кг озон – 30 % неон – 70 % $V=3$ л; $T=?$ $P=100$ кПа	35 $m=0,3$ кг криптон – 30 % аммиак – 70 % $V=4$ л; $P=?$ $T=290$ К
36 $m=0,4$ кг гелий – 70 % ксенон – 30 % $V=?$ ; $T=323$ К; $P=120$ кПа	37 $m=1,2$ кг озон – 40 % ксенон – 60 % $V=2,5$ л; $T=?$ $P=150$ кПа	38 $m=0,6$ кг аргон – 60 % пропан – 40 % $V=?$ ; $T=303$ К; $P=175$ кПа	39 $m=0,2$ кг криптон – 80 % этан – 20 % $V=4$ л; $T=373$ К; $P=?$	40 $m=0,3$ кг оксиген – 70 % гидроген – 30 % $V=?$ ; $T=290$ К; $P=100$ кПа

### Супориши сеюми инфродӣ

Дар температураи  $T$  энергияи кинетикии миёнаи молекула ва энергияи дохилии газро муайян намоед.

1. гидроген $\nu=1$ мол $T=293$ К	2. оксиген $\nu=0,5$ мол $T=273$ К	3. неон $\nu=1,2$ мол $T=303$ К	4. гелий $\nu=2$ мол $T=300$ К
5. фтор $\nu=0,2$ мол $T=313$ К	6. нитроген $\nu=1,5$ мол $T=373$ К	7. $\text{CO}_2$ $\nu=3$ мол $T=350$ К	8. хлор $\nu=2,5$ мол $T=393$ К
9. сулфид $\nu=1,4$ мол $T=283$ К	10. аммиак $\nu=1,7$ мол $T=323$ К	11. ҳаво $\nu=10$ мол $T=298$ К	12. метан $\text{CH}_4$ $\nu=0,5$ мол $T=113$ К
13. гидрогенхлорид $\nu=1,9$ мол $T=333$ К	14. гидрогенфторид $\nu=1,3$ мол $T=343$ К	15. этан $\text{C}_2\text{H}_6$ $\nu=1,5$ мол $T=243$ К	16. пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ $\nu=4$ мол $T=113$ К
17. бутан $\nu=2$ мол $T=313$ К	18. озон ( $\text{O}_3$ ) $\nu=5$ мол $T=283$ К	19. буғи об $\nu=7$ мол $T=363$ К	20. ксенон $\nu=2$ мол $T=303$ К
21. радон $\nu=1,5$ мол $T=273$ К	22. криптон $\nu=2,5$ мол $T=293$ К	23. аргон $\nu=6$ мол $T=323$ К	24. хлороформ $\nu=1,1$ мол $T=313$ К
25. Бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$ $\nu=4,5$ мол $T=275$ К	26. $\text{CH}_3\text{OH}$ $\nu=2,0$ мол $T=373$ К	27. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $\nu=1,5$ мол $T=333$ К	28. бром $\nu=2,5$ мол $T=343$ К
29. Йод $\nu=0,5$ мол $T=363$ К	30. $\text{CHCl}_3$ $\nu=1,5$ мол $T=313$ К	31. $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ $\nu=4,5$ мол $T=323$ К	32. $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ $\nu=2,5$ мол $T=383$ К
33. ацетон $\nu=3,5$ мол $T=373$ К	34. фтор $\nu=1,2$ мол $T=333$ К	35. $\text{C}_5\text{H}_{12}$ $\nu=2,5$ мол $T=333$ К	36. $\text{C}_6\text{H}_{14}$ $\nu=1,5$ мол $T=353$ К
36. $\text{C}_7\text{H}_{16}$ $\nu=5,5$ мол $T=383$ К	37. $\text{C}_8\text{H}_{18}$ $\nu=2,5$ мол $T=413$ К	38. $\text{C}_9\text{H}_{20}$ $\nu=3,5$ мол $T=425$ К	39. $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ $\nu=5,5$ мол $T=450$ К
40. $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$ $\nu=3,5$ мол $T=273$ К	41. $(\text{CH}_3)_2\text{CHC}_2\text{H}_5$ $\nu=2,5$ мол $T=313$ К	42. Гексан $\nu=2,5$ мол $T=343$ К	43. Толуол $\nu=0,5$ мол $T=383$ К

### Супориши чоруми инфродӣ

Барои газе, ки фишорааш  $P$  ва температурааш  $T$  аст, адади миёнаи бархӯрдро дар воҳиди вақт ва дарозии миёнаи дави озодро ҳисоб намоед.

1. гидроген $P= 120$ кПа $T= 283$ К	2. оксиген $P= 200$ кПа $T= 293$ К	3. неон $P= 250$ кПа $T= 333$ К	4. гелий $P= 100$ кПа $T= 350$ К
5. фтор $P= 220$ кПа $T= 303$ К	6. нитроген $P= 110$ кПа $T= 313$ К	7. $CO_2$ $P= 250$ кПа $T= 300$ К	8. хлор $P= 240$ кПа $T= 373$ К
9. сулфид $P= 210$ кПа $T= 353$ К	10. аммиак $P= 140$ кПа $T= 373$ К	11. ҳаво $P= 100$ кПа $T= 293$ К	12. метан $P= 90$ кПа $T= 115$ К
13. гидрогенхлорид $P= 80$ кПа $T= 300$ К	14. гидрогенфторид $P= 120$ кПа $T= 313$ К	15. этан $P= 150$ кПа $T= 263$ К	16. пропан $P= 110$ кПа $T= 123$ К
17. бутан $P= 210$ кПа $T= 323$ К	18. озон ( $O_3$ ) $P= 220$ кПа $T= 273$ К	19. буғи об $P= 140$ кПа $T= 393$ К	20. ксенон $P= 70$ кПа $T= 323$ К
21. радон $P= 95$ кПа $T= 353$ К	22. криптон $P= 110$ кПа $T= 303$ К	23. аргон $P= 75$ кПа $T= 313$ К	24. симоб $P= 1$ кПа $T= 290$ К
25. $C_2H_2$ $P= 10$ кПа $T= 298$ К	26. $NO$ $P= 5$ кПа $T= 333$ К	27. йод $P= 6$ кПа $T= 343$ К	28. $C_2H_4$ $P= 9$ кПа $T= 353$ К
29. $CH_3OH$ $P= 200$ кПа $T= 380$ К	30. $C_2H_5OH$ $P= 150$ кПа $T= 500$ К	31. $C_3H_7OH$ $P= 100$ кПа $T= 450$ К	32. $C_4H_9OH$ $P= 120$ кПа $T= 550$ К
33. ацетон $P= 120$ кПа $T= 400$ К	34. бензол $P= 20$ кПа $T= 380$ К	35. аммиак $P= 80$ кПа $T= 353$ К	36. ацетелин $P= 25$ кПа $T= 383$ К
37. спирти этил $P= 75$ кПа $T= 343$ К	38. $H_2S$ $P= 35$ кПа $T= 350$ К	39. $C_5H_{12}$ $P= 15$ кПа $T= 353$ К	40. $C_6H_{14}$ $P= 90$ кПа $T= 363$ К
41. $C_7H_{16}$ $P= 65$ кПа $T= 393$ К	42. $C_8H_{18}$ $P= 60$ кПа $T= 423$ К	43. $C_9H_{20}$ $P= 15$ кПа $T= 435$ К	44. $C_{10}H_{22}$ $P= 25$ кПа $T= 453$ К



### Супориши панчуми инфродӣ

Барои газе, ки температурааш  $T$  мебошад, суръатҳои миёнаи арифметикӣ, миёнаи квадратӣ ва эҳтимолтарини молекулаҳои онро ҳисоб кунед. Адади нисбии молекулаҳои газро ёбед, ки суръаташон аз  $a\vartheta_3$  то  $b\vartheta_3$  меҳабанд.

1. Гидроген $T=300\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=10$	2. гелий $T=400\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=1,5$	3. неон $T=380\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=1,2$	4. аргон $T=1000\text{ K}$ $a=0;$ $b=1$	5. Ҳаво $T=300\text{ K}$ $a=0;$ $b=0,5$
6. Фтор $T=360\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=1$	8. Йод $T=340\text{ K}$ $a=0,3;$ $b=1,3$	9. Оксиген $T=350\text{ K}$ $a=0,6;$ $b=1,6$	10. Нитроген $T=300\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=2$	11. Буғи об $T=373\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=1,5$
12. $\text{CO}_2$ $T=340\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=1$	13. Аммиак $T=300\text{ K}$ $a=0,1;$ $b=0,5$	14. Метан $T=120\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=1,0$	15. Этан $T=300\text{ K}$ $a=0,3;$ $b=1,3$	16. Пропан $T=200\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=1,5$
17. Озон $T=350\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=2,5$	18. Криптон $T=380\text{ K}$ $a=0,1;$ $b=1,1$	19. $\text{C}_2\text{H}_2$ $T=303\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=2,5$	20. $\text{NO}$ $T=353\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=2,2$	21. $\text{C}_2\text{H}_4$ $T=363\text{ K}$ $a=1,5;$ $b=5,5$
22. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $T=360\text{ K}$ $a=0,8;$ $b=1,8$	23. $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ $T=400\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=3,5$	24. $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ $T=500\text{ K}$ $a=0,1;$ $b=1,5$	25. Атсетон $T=400\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=2,5$	26. Бензол $T=350\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=1,5$
27. $\text{C}_6\text{H}_{14}$ $T=370\text{ K}$ $a=0,8;$ $b=1,8$	28. $\text{C}_7\text{H}_{16}$ $T=400\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=4,5$	29. $\text{C}_8\text{H}_{18}$ $T=450\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=2,5$	30. $\text{C}_9\text{H}_{20}$ $T=445\text{ K}$ $a=0,1;$ $b=6,5$	31. $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ $T=460\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=4,5$
32. $\text{CHCl}_3$ $T=300\text{ K}$ $a=0,5;$ $b=1,5$	33. $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$ $T=300\text{ K}$ $a=0,3;$ $b=2,5$	34. $(\text{CH}_3)_2\text{CHC}_2\text{H}_5$ $T=320\text{ K}$ $a=0,1;b=5,5$	35. Атоми гидроген $T=1300\text{ K}$ $a=0,5;b=1,5$	36. Атоми нитроген $T=2000\text{ K}$ $a=0,5;b=1,5$
37. Хлор $T=400\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=1,2$	38. Ксенон $T=380\text{ K}$ $a=0,2;$ $b=5$	39. Бутан $T=323\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=1,4$	40. $\text{CH}_3\text{OH}$ $T=343\text{ K}$ $a=0,4;$ $b=1,4$	41. $\text{C}_5\text{H}_{12}$ $T=360\text{ K}$ $a=1,5;$ $b=2,5$

## БОБИ II АСОСҶОИ ТЕРМОДИНАМИКА

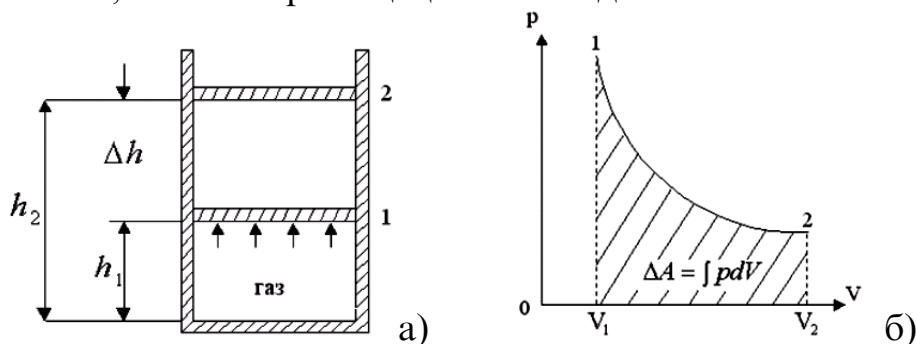
Методи термодинамикӣ ба моҳияти протсесҳо дахл накарда, танҳо тағйироти параметрҳои макроскопиро дар асоси хулосаҳои таҷрибавӣ муҳокима ва ба се қонун таъяс мекунад. Қонуни якум қонуни бақо ва табилооти энергия дар протсесҳои ҳароратиро дар бар мегирад. Қонуни дуюм самти гузариши протсесҳоро нишон медиҳад. Қонуни сеюм маҳдудияти протсесҳоро муайян мекунад. Масалан, бо такроркуниҳои охиринок сифри мутлақи Келвинро ҳосил кардан номумкин аст.

### § 2.1 Кор дар изопротсесҳо

Бигузур дар цилиндре, ки поршенаш озод ҳаракат карда метавонад, газ ҷойгир бошад (расми 2.1,а). Агар газро гарм кунем, аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 васеъ шуда, ба муқобили қувваҳои беруна кор иҷро мекунад. Кори иҷрокардаи газ

$$\delta A = Fdh = PSdh = PdV; \quad \delta A = PdV.$$

Ин ҷо аломати  $\delta$ -бузургӣ ниҳоят кам буданастро нишон медиҳад. Масалан,  $\delta A$  – кори ниҳоят кам аст. Ҳангоми иҷрои кор параметрҳои макроскопӣ тағйир меёбанд. Аломати  $d$  тағйироти бузургиро нишон медиҳад, масалан,  $dV$ -тағйироти ҳаҷм мебошад.



Расми 2.1.

Агар система ба муқобили қувваҳои беруна кор иҷро кунад, кори система мусбат аст:  $\delta A > 0$ . Агар қувваҳои беруна бар система кор иҷро кунанд, кори қувваҳои берунӣ мусбат асту кори система манфӣ:  $\delta A < 0$ . Кори қувваҳои беруна аз кори газ танҳо бо аломаташ фарқ мекунад:  $\delta A = -\delta A'$ . Кори пурраи иҷрокардаи газро ҳангоми аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 гузаштан (расми 2.1 б) бо формулаи зерин ҳисоб мекунанд:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV. \quad (2.1)$$

Формулаҳоро барои ҳисоби кори иҷрокардаи  $\nu$  мол газ дар изопротсесҳо ҳосил менамоем.

Дар протсеси изохорӣ тағйироти ҳаҷм баробари сифр аст ( $dV = 0$ ), яъне дар ин маврид система кор иҷро намекунад:  $A_V = 0$ .

Дар протсеси изобарӣ  $P=\text{const}$  ва аз ин  $p\bar{v}$  кори иҷрошуда дар ин протсесс чунин муайян карда мешавад:

$$A_p = P \int_1^2 dV = P(V_2 - V_1) \text{ ё ки } A_p = \nu R(T_2 - T_1). \quad (2.2)$$

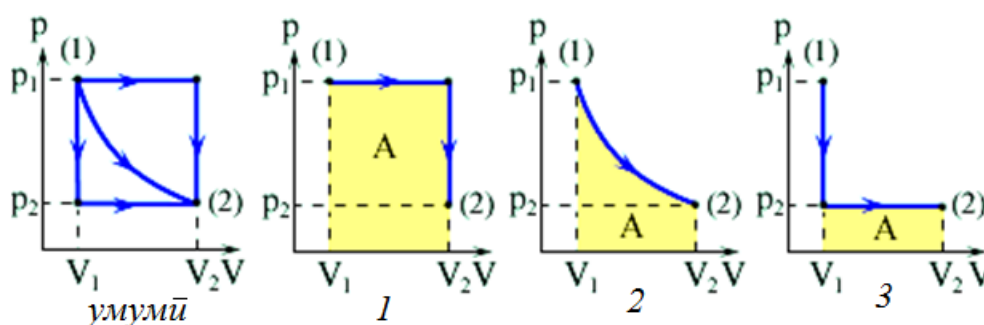
Дар протсеси изотермӣ  $T=\text{const}$  ва  $A_T = \int_1^2 P(V)dV = \nu \int_1^2 \frac{RT}{V} dV$

аст, аз ин  $p\bar{v}$  кори иҷрошуда бо формулаи

$$A_T = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}. \quad (2.3)$$

ҳисоб меёбад.

Се роҳи гуногуни гузариш аз ҳолати (1) ба ҳолати (2) дар PV-диаграмма чунин тасвир карда мешаванд:



Дар ҳар се ҳолат система корҳои гуногунро иҷро менамояд, ки бузургии он ба масоҳати аз график поён баробар аст.

## § 2.2. Энергияи дохилӣ. Миқдори гармӣ.

Ба ғайр аз энергияҳои кинетикӣ ва потенциалии механикии системаи яклухт (масалан, зарф) дигар ҳамаи энергияҳо ба энергияи дохилӣ мансубанд. Масалан, агар газ дар дохили зарф бошад, энергияи кинетикӣ ҳаракати зарф ва энергияи потенциалии он дар майдони ҷозоба ба энергияи дохилӣ тааллуқ надоранд. Энергияи дохилӣ аз суммаи энергияи кинетикӣ ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо, энергияи потенциалии таъсири ҳамдигарии молекулаҳо ва энергияҳои дохилимолекулавӣ иборат аст:  $U = E_k + E_n + E_m$ . Дар протсесҳои дар ҷисмҳои макроскопӣ гузаранда тағйироти энергияи дохилимолекулавиро ба назар нагирифтани мумкин аст. Аз ин рӯ  $U = E_k + E_n$ . Барои газҳои идеалӣ қувваи ҷозобаи байни молекулаҳо сарфи назар кардан раво аст ва энергияи дохилии он аз суммаи энергияҳои кинетикӣ ҳаракати бетартибонаи молекулаҳои таркибаш иборат мебошад:

$$U = E_k = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT \quad (2.4)$$

Энергияи дохилии гази идеалӣ танҳо ба температура вобаста аст. Яъне, агар гази идеалӣ гарм шавад, энергияи дохилӣ меафзояд ва мавриди сард гардонданиш, энергияи дохилиаш кам мешавад.

Энергияро, ки аз як қисм ба қисми дигар ҳангоми мубодилаи гармӣ бе иҷрои кор мегузарад, миқдори гармӣ меноманд. Агар қисм ягон миқдори гармӣ гирад, аломати он мусбат ( $\delta Q > 0$ ) ва агар гармӣ диҳад, манфӣ ( $\delta Q < 0$ ) ҳисоб меёбад.

### §2.3. Қонуни якуми термодинамика

Миқдори гармие, ки ба система дода мешавад, барои тағйир додани энергияи дохилии он ва иҷрои кор ба муқобили қувваҳои беруна сарф мешавад:

$$\delta Q = dU + \delta A \text{ ё ки } \delta Q = dU + PdV . \quad (2.5)$$

Ифодаи (2.5) қонуни 1-уми термодинамика дар намуди дифференсиалӣ мебошад. Татбиқи қонуни якуми термодинамикаро ба изопротсессҳо баррасӣ менамоем.

Дар протсеси изохорӣ система кор иҷро намекунад ва ҳамаи миқдори гармии ба система додашуда барои тағйир додани энергияи дохилии он сарф мешавад:  $V = \text{const}$ ,  $\delta A = 0$ ,  $\delta Q_v = dU$ .

Дар протсеси изотермӣ ( $T = \text{const}$ ,  $dT = 0$ ) энергияи дохилӣ тағйир намеёбад ( $dU = 0$ ) ва ҳамаи миқдори гармии ба система додашуда барои иҷрои кори он сарф мешавад:  $\delta Q_T = \delta A_T$ .

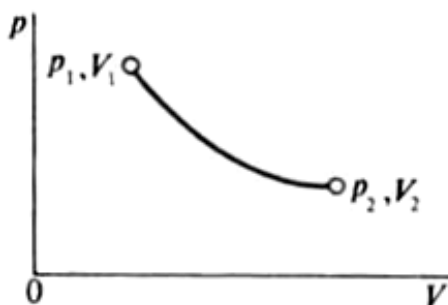
Дар протсеси изобарӣ ( $P = \text{const}$ ) система ҳангоми гармӣ гирифтани ҳам гарму ва ҳам васеъ мешавад:  $\delta Q_p = dU + PdV$ .

Протсеси адиабатӣ. Протсесеро, ки бе мубодилаи гармӣ ( $\delta Q = 0$ ) бо муҳити атроф сурат мегирад, протсеси адиабатӣ (аз юн. *adiabatos*-нагузаранда) меноманд.  $dU = -\delta A$ , яъне дар протсеси адиабатӣ кор аз ҳисоби энергияи дохилӣ иҷро мешавад. Агар система васеъ гардад, кори иҷрокардаи он мусбат буда ( $\delta A > 0$ ), энергияи дохилиаш кам мешавад, яъне газ сард мешавад ( $dU < 0$ ). Ҳангоми адиабатӣ фишурдани система қувваҳои беруна кор иҷро мекунанд, ки кори онҳо мусбат ( $\delta A' > 0$ ) аст, вале кори қувваҳои дохила манфӣ ( $\delta A < 0$ ) ва энергияи дохилӣ меафзояд  $dU > 0$ , яъне газ гарм мешавад.

Агар системаи қисмҳо маҳдуд бошанд, суммаи миқдори гармиҳои гирифтаву додаш баробари сифр мешавад  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n + \dots + Q_N = 0$ . Ин ифодаро муодилаи баланс, ё ки мувозинаи гармӣ меноманд.

### § 2.4 Протсесҳои мувозинаӣ, ғайримувозинаӣ, баргарданда ва бебозгашт

Ҳолати системаи дилхоҳ бо воситаи се параметр тавсиф дода мешавад:  $P, V, T$ . Гузариши система аз ҳолати  $P_1, V_1, T_1$  ба ҳолати  $P_2, V_2, T_2$  протсес номида мешавад. Агар протсес ниҳоят суст гузарад, то ки дар ҳар як нукта система ба ҳолати мувозинатӣ ояд, онро мувозинаӣ меноманд (расми 2.2).



Расми 2.2.

Дар P,V- диаграмма рафти протсессро бо хати каҷ ё росте тасвир месозанд, ки температураи ҳар як нуқтаашро ба воситаи муодилаи ҳолат муайян мекунанд. Аз се параметр метавонад танҳо дутоаш новобаста бошад. Сеюмаш ба воситаи муодилаи ҳолат муайян карда мешавад. Барои санҷиши газ, ки онро оё гази идеалӣ ҳисобидан мумкин аст ё не, аз қонуни умумикардасудай газ, ки барои массаи муайяни газ ҳосили зарби фишор бар ҳаҷм танҳо ба температура вобаста аст, истифода мебарем. Агар ҳангоми гузаштани протсес қимати параметрҳои термодинамикӣ дар ҳама ҷо якандоза набошад, протсессро ғайримувозинаӣ меноманд. Ҳамеша протсесҳое, ки мувозинатианд, баргарданда мебошанд. Протсесе, ки бо ҳамон нуқтаҳои аз ҳолати аввала ба оянда гузаштааш боз ба ҳолати аввалааш бармегардад, протсеси баргарданда меноманд. Барои ин протсес бояд ба дараҷае суст гузарад, ки онро ҳамчун пайдарпайии бефосилаи ҳолатҳои мувозинатӣ ҳисобидан мумкин бошад. Яъне, ин протсес нисбат ба протсесҳои барқароршавии мувозинатии термодинамикӣ дар системаи мазкур бояд сусттар сурат гирад. Амалан барои протсеси баргарданда ниҳоят суст тағйир ёфтани параметрҳои термодинамикӣ хос аст, ки мувозинаи системаро муайян мекунанд (зичӣ, фишор, температура ва ғ.). Ин протсесҳоро квазистатистӣ ё квазимувозинаӣ ҳам меноманд. Протсеси физикавие, ки он худ аз худ танҳо ба як самти муайян ҷараён гирифта метавонад, протсеси бебозгашт меноманд. Ҳодисаҳои диффузия, гармигузаронӣ, термодиффузия ва ғ. мисолҳои протсесҳои бебозгашт мебошанд. Ҳамаи протсесҳои ғайримувозинаӣ бебозгаштанд.

### § 2.5. Гармиғунҷоиш

Гармиғунҷоиши ҷисм ададан ба миқдори гармие баробар аст, ки барои ҷисмро ба қадри як Келвин гарм кардан зарур аст:  $C = \frac{\delta Q}{dT}$ . Ин бузургӣ ба масса вобаста аст ва тавсифи хосияти физикавии ҷисм шуда наметавонад. Аз ин сабаб мафҳумҳои гармиғунҷоишҳои хос, молӣ ва ҳаҷмиро истифода мебаранд. Гармиғунҷоиши хос ададан ба миқдори гармие баробар аст, ки ҷисми масааш 1 кг-ро ба як Келвин гарм кардан лозим аст:  $c = \frac{\delta Q}{m dT}$ .

Гармиғунҷоиши молӣ ададан ба миқдори гармие, ки барои як мол газро ба як Келвин гарм кардан зарурат дорад, баробар аст:  $C_m = \frac{\delta Q}{v dT}$ . Гармиғунҷоиши ҳаҷмӣ ададан ба миқдори гармие баробар аст, ки барои 1 м<sup>3</sup> моддаро ба як Келвин гарм кардан лозим мешавад.

$$C = \frac{\delta Q}{V dT}.$$

Барои гармиғунҷоиши ҳаҷмиро муайян кардан гармиғунҷоиши хосро ба зичии модда зарб задан кофист.

Дар оянда бо  $C$ - гармиғунҷоиши молӣ ва бо  $c$ - гармиғунҷоиши хосро ишорату муодилаҳоро барои як мол модда ҳосил мекунем. Барои гармиғунҷоиши хосро ёфтани гармиғунҷоиши молиро ба массаи молӣ тақсим мекунем:  $c = \frac{C}{M}$ . Гармиғунҷоиш ба навъи протсесс вобаста аст ва барои фарқ кардан дар индекс бузургии термодинамикие, ки дар тули протсеси гузаранда доимӣ мемонад, ишорат мекунанд:  $C_v$  – гармиғунҷоиши молӣ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ва  $C_p$ - гармиғунҷоиши молӣ ҳангоми доимӣ будани фишор.

Ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $\delta Q_v = dU$  аст, аз ин рӯ

$$C_v = \left( \frac{\delta Q}{dT} \right)_v = \frac{dU}{dT} \quad (2.6)$$

ҳисобидан равоқст.

Азбаски тарафи рости муодила дифференсиали пурра аст, дар протсеси изохорӣ энергияи дохилӣ ва  $C_v$  функсияи ҳолат доништа мешаванд.

Дар протсеси изобарӣ  $C_p$ -ро чун:  $C_p = \left( \frac{\delta Q}{dT} \right)_p = \frac{dU + PdV}{dT}$

ё худ

$$C_p = \frac{d(U + PV)}{dT} \quad (2.7)$$

дарёфта метавонем.

Бузургии  $U + PV = H$ -ро энталпия (аз юн. enthalpö - гарм мекунам) меноманд. Дар протсеси изобарӣ энталпия ва  $C_p$ -функсияи ҳолатанд. Дар протсеси изотермӣ  $C_T = \pm \infty$ , дар протсеси адиабатӣ  $C_{ad} = 0$  буданаширо таъкид бояд кард.

Барои муайян кардани вобастагии гармиғунҷоишҳо фарз мекунем, ки муодилаҳои ҳолат маълуманд:  $P = P(V, T)$ ;  $V = V(P, T)$ ;  $T = T(P, V)$ . Бигузур энергияи дохилӣ функсияи температура ва ҳаҷм бошад:  $U = U(T, V)$ . Он гоҳ тағйироти пурраи энергияи дохилиро чун:

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

ҳисобида метавонем.

Барои қонуни якуми термодинамика ва барои гармиғунҷоиш формулаҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right] dV \quad C = \frac{\delta Q}{dT} = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right] \frac{dV}{dT}$$

$$C = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right] \frac{dV}{dT} \quad (2.8)$$

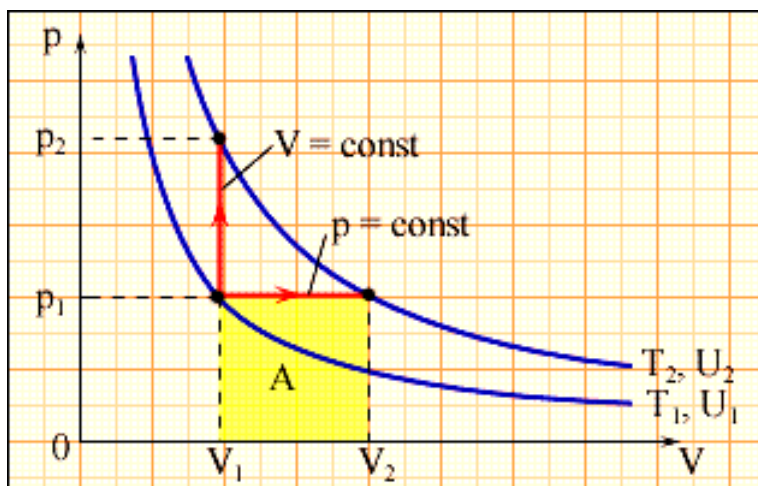
Мувофиқи ин формула вобастагии гармиғунҷоишхоро барои протсеси ихтиёрӣ ҳосил кардан мумкин аст. Масалан, барои протсеси изобарӣ:

$$C_p = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right] \left(\frac{dV}{dT}\right)_p \quad (2.9)$$

буданаш маълум мегардад.

Ин формула вобастагии гармиғунҷоишхоро ҳангоми доимӣ будани фишор ва ҳаҷм нишон медиҳад.

Ду протсеси имконпазири гармкунии газ ба қадри  $\Delta T = T_2 - T_1$  дар расми 2.3 тасвир ёфтааст. Дар мавриди  $P = \text{const}$  газ кори  $A = P_1 (V_2 - V_1)$ -ро иҷро мекунад. Аз ин сабаб  $C_p > C_V$  мебошад.



Расми 2. 3

## § 2.6. Гармиғунҷоиши гази идеалӣ ва санҷиши таҷрибавии он

Энгергияи дохилии гази идеалӣ танҳо ба температура вобаста аст.

Энгергияи як молекула  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ , энгергияи як мол газ  $U = N_A \varepsilon = \frac{i}{2}N_A kT = \frac{i}{2}RT$ .

аз ин рӯ  $C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2}R$  мебошад. Аз муодилаи ҳолат барои як мол газ

$\left(\frac{dV}{dT}\right)_p = \frac{R}{P}$  ва  $\frac{PdV}{dT} = R$ . Аз ин формула маънои физикавии доимии уни-

версалии газҳо бармеояд: як мол гази дилхоҳи идеалиро изобарӣ ба қадри як Келвин гарм кунем, бояд 8,31 Ҷ кор иҷро шавад. Барои газҳои идеалӣ

$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$  буданашро ба назар гирифта, аз формулаи ( 2.9 ) ҳосил мекунем

$C_p = C_V + R$ , ки онро муодилаи Майер меноманд. Агар ҳарду тарафи ин муо-



диларо ба массаи молӣ тақсим кунем, муодилаи Майерро барои бузургҳои хос меёбем:

$$C_p = C_v + R_0; \quad R_0 = \frac{R}{M} \quad C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R.$$

Нисбати  $C_p/C_v$  – ро бо  $\gamma$  ишора мекунем:  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$ , ки ин нисбат танҳо ба адади дараҷаи озоди молекулаҳои газ вобаста аст. Дар ҷадвали 2.1 ва 2.2 барои газҳои молекулаҳои якатома, дуатома ва сеатома адади дараҷаи озод ва бузургҳои назариявии энергия ба онҳо мувофиқоянда ва дар ҷадвали 2.3 қиматҳои таҷрибавии гармиғунҷоиши молии баъзе газҳо оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.1

Гармиғунҷоишҳои молии изохорӣ ва изобарии гази идеалӣ

Газ	i	$C_v$ Ҷ/(мол·К)	$C_p$ Ҷ/(мол·К)	$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$
Якатома (He, Ne, Ar ва ғ.)	3	$\frac{3}{2}R = 12,48$	$\frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$ = 20,80	$\gamma = \frac{3+2}{3}$ = 1,67
Дуатома (O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> ва ғ.)	5	$\frac{5}{2}R = 20,80$	$\frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$ = 29,12	$\gamma = \frac{5+2}{5}$ = 1,4
Бисёратома (O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ва ғ.)	6	$\frac{6}{2}R = 3R$ = 24,96	$3R + R = 4R$ = 33,28	$\gamma = \frac{6+2}{6}$ = 1,33

Ҷадвали 2.2

Молекула	Алоқаи байни атомҳо	I	$i_{\text{пеш}}$	$i_{\text{ч}}$	$i_{\text{л}}$	$W_k$	$i_y$	$W_y$
Якатома	-	3	3	0	0	$3kT/2$	3	$3kT/2$
Дуатома	сахт	5	3	2	0	$5kT/2$	5	$5kT/2$
Дуатома	чандир	6	3	2	1	$6kT/2$	7	$7kT/2$
Сеатома	сахт	6	3	3	0	$6kT/2$	6	$6kT/2$
Сеатома	чандир	9	3	3	3	$9kT/2$	12	$12kT/2$

Ҷадвали 2.3

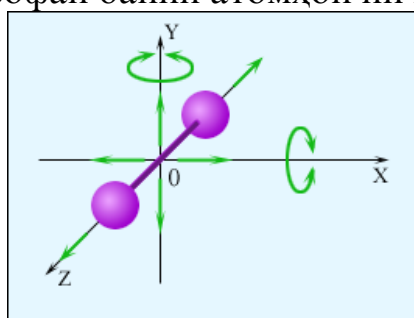
Қиматҳои таҷрибавии гармиғунҷоиши газҳо

Газ	$C_v$ , Ҷ/(мол К)	$C_p$ , Ҷ/(мол К)	$\gamma$
Гелий (He)	12,456	20,900	1,67
Аргон (Ar)	12,456	21,193	1,65
Гидроген (H <sub>2</sub> )	20,357	28,717	1,41
Нитроген (N <sub>2</sub> )	20,733	28,591	1,41
Оксиген (O <sub>2</sub> )	20,858	28,842	1,40
Оксиди карбон (CO)	20,942	29,302	1,40

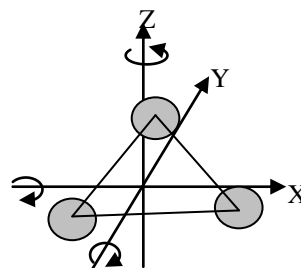
Буғҳои об ( $H_2O$ )	27,797	36,157	1,31
Метан ( $CH_4$ )	27,212	35,572	1,30
Хлороформ ( $CHCl_3$ )	63,536	71,896	1,13
Спирти этил ( $C_2H_5OH$ )	79,002	87,362	1,11

Барои он ки адади дараҷаи озоди молекулаҳо муқаррар карда шавад, модели муайяни молекуларо дар назар доштан лозим аст. То алҳол мо молекуларо ҳамчун курача тасаввур мекардем; агар ин молекулаи курашакро ҳамчун нуқтаи материалӣ қабул намоем (яъне чархзаниаш дар атрофи меҳваре сарфи назар карда шавад), он дорои 3 дараҷаи озод мебошад.  $i=3$ ;  $C_V=3R/2=12,452$  Ҷ/(мол К);  $C_P=5R/2=20,754$  Ҷ/(мол К) ва  $\gamma=1,67$  мешавад. Аз муқоисаи ҷадвалҳои 2.1-2.2 бо натиҷаҳои андозагирии таҷрибавии дар ҷадвали 2.3 овардашуда бармеояд, ки ин бузургиҳои назариявии гармиғунҷоишҳо барои гелий ва аргон мувофиқ меоянд; ин газҳо якатома мебошанд, яъне молекулаҳои онҳо аз атомҳои алоҳида иборатанд. Агар барои газҳои якатома адади дараҷаи озод ба 3 баробар қабул карда шавад, бузургии гармиғунҷоишҳои мувофиқи назарияи кинетикии газҳо ҳисоб кардашуда ва қимати таҷрибавии онҳо ба якдигар хуб созгоранд.

Барои газҳои дуатома, мисли гидроген, оксиген, нитроген, оксиди карбон ва ғайра модели дар расми 2.4, а тасвирёфтaro қабул кардан мумкин аст. Масофаи байни атомҳои ин гуна газҳоро бетағйир меҳисобем.



а)



б)

Расми 2.4.

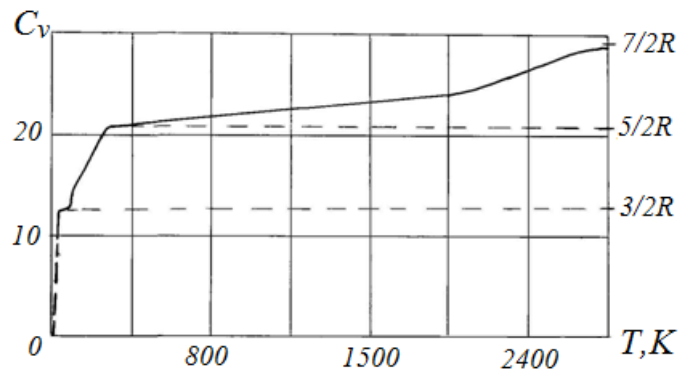
Ин навъ молекула нисбат ба меҳвари аз маркази ҳар ду атомҳо гузарида чарх зада наметавонад. Бинобар он, дараҷаи озоди молекулаи дуатомаи саҳт ба 5 баробар аст.  $i=5$ ,  $C_V=5R/2=20,754$  Ҷ/(мол К);  $C_P=7R/2=29,055$  Ҷ/(мол К) ва  $\gamma=1,40$  мешавад. Бузургиҳои назариявӣ ҳосилшуда бо бузургиҳои таҷрибавӣ барои гидроген, нитроген ва оксиди карбон мувофиқ меоянд, яъне молекулаи ин газҳо дуатома будаанд.

Молекулаҳои сеатома ва бисёратомаро ҳамчун ҷисми саҳти ғайри симметрӣ меҳисобем ва адади дараҷаи озоди онҳо 6 мешавад (расми 2.4 б). Лапиши атомҳоро дар молекула ба назар намегирем. Барои ин гуна модел бузургиҳои зеринро ҳосил мекунем:  $i=6$ ,  $C_V=6R/2=25,08$  Ҷ/(мол К);  $C_P=8R/2=33,44$  Ҷ/(мол К) ва  $\gamma=1,33$ . Ин қиматҳо ба натиҷаи андозагириҳои таҷрибавӣ барои гармиғунҷоиши буғҳои об ва метан наздиканд;

барои молекулаҳои мураккаб, ба монанди асетон ва спирти этил қимати таҷрибавии гармиғунҷоиш назар ба назариявиаш хеле зиёд аст. Барои ин гуна молекулаҳо дар қатори дараҷаҳои озоди ҳаракатҳои пешравӣ ва чархзанӣ дараҷаҳои озоди ҳаракати лапишнокро ҳам ба эътибор гирифтани лозим меояд.

Аз назарияи физикаи классикӣ бармеояд, ки гармиғунҷоиши газҳо ба температура вобаста нест. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки гармиғунҷоиши газҳои якатома ( $\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$  ва ғ.) ба температура вобаста нест, аммо гармиғунҷоиши газҳои дуатома, сеатома ва ғ. бо баландшавии температура меафзоянд.

Барои санҷиши формулаҳои гармиғунҷоиши газҳои идеалӣ вобастагии таҷрибавии гармиғунҷоиши (ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм) гидрогенро ба температура барраси менамоем. Барои газҳои идеалӣ бояд, ки гармиғунҷоиш аз температура вобаста набояд. Таҷриба нишон медиҳад, ки гармиғунҷоиши гидроген дар температураҳои паст ба гармиғунҷоиши гази якатома мувофиқ меояд, дар температураҳои муътадил ба гармиғунҷоиши гази дуатома ва дар температураҳои ниҳоят баланд  $C_v = \frac{7}{2}R$  аст. Дар расми 2.5 барои гидроген вобастагии таҷрибавии гармиғунҷоиш ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ба температура тасвир шудааст.



Расми 2.5.

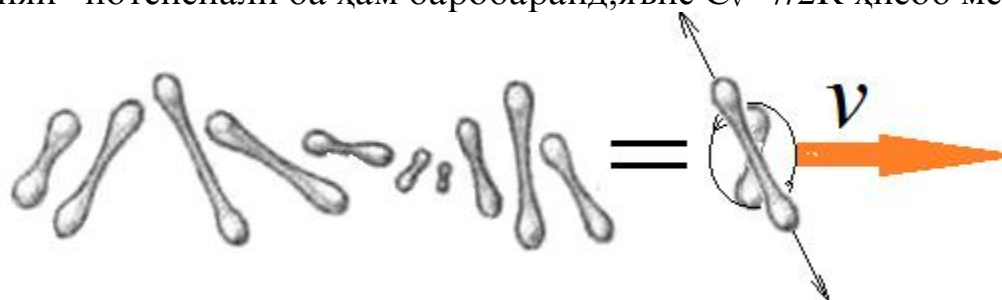
Дар температураҳои ниҳоят паст молекулаҳои гидроген танҳо ҳаракати пешравӣ мекунанд, ҳаракати чархзанӣ нест, яъне адади дараҷаҳои озоди чархзанӣ гӯё шах шудаду аз ҳисоб баромадааст.



Дар температураи муътадил ҳам ҳаракати пешравӣ ва ҳам ҳаракати чархзанӣ мавҷуданд.



Дар температураи баланд ба онҳо лапиши атомҳо илова мешавад. Азбаски дар ҳаракати лапишнок қиматҳои миёнаи энергияи кинетикӣ ва энергияи потенциалӣ ба ҳам баробаранд, яъне  $C_v = 7/2R$  ҳисоб меёбад.



Аз натиҷаи таҷрибаҳо бармеояд, ки гармиғунҷоиши газҳои дуатома сеатома ҳам ба температура вобастаанд, яъне бо афзудани температура ба ҳаракати пешравӣ дигар намудҳои ҳаракат ҳамроҳ мешаванд. Ҳангоми ҳисоби вобастагии гармиғунҷоиши газҳои бисёратома ба температура бояд ба эътибор гирифт, ки дар температураҳои ниҳоят баланд диссоциатсияи молекулаҳо ба амал меояд. Масалан, дар мавриди ба ду атоми алоҳида тақсим шудани молекулаи дуатома ҳар кадоми онҳо 3 дараҷаи озод дорад. Ҳангоми диссоциатсияи пурраи гази дуатома он ба омехтаи ду гази якатома мубаддал мешавад.

Гармиғунҷоиши гази реалӣ ба температура, фишор, структураи молекула, протсеси гармидиҳӣ вобаста аст.

Миқдори гармии миёнаеро, ки барои ба як Келвин дар соҳаи аз  $T_1$  то  $T_2$  тағйир додани температураи ҷисм лозим аст, гармиғунҷоиши миёна меноманд:

$$\langle C \rangle = \frac{Q_2 - Q_1}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Бузургии гармиғунҷоишро дар температураи муайян гармиғунҷоиши ҳақиқӣ меноманд:

$$C_{\text{һ}} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{dQ}{dT}$$

Гармиғунҷоиши миёнаро ҳамчун гармиғунҷоиши ҳақиқӣ дар температураи миёнаи протсес:

$$\langle T \rangle = \frac{T_1 + T_2}{2},$$

ё ки чун қимати миёна аз гармиғунҷоиши ҳақиқӣ дар ибтидо ва охири протсес муайян мекунанд:

$$\langle C \rangle = \frac{C_1 + C_2}{2}.$$

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки гармиғунҷоиши ҳақиқӣ бо баландшавии температура меафзояд. Гармиғунҷоиши газҳои якатома (He, Ne, Ar ва дигарҳо) ба температура вобаста нест. Вобастагии гармиғунҷоиши ҳақиқӣ ба температура бо ифодаи зерин муайян мешавад:

$$C = a + bT + kT^{-2} \quad \text{ё ки} \quad C = a + bT + kT^2 + dT^3.$$

Ин ҷо  $a, b, k, d$  – коэффисиентҳое, ки ба тарзи таҷрибавӣ муайян кардан мекунанд. Он гоҳ гармиғунҷоиши миёна дар интервали  $T_1 \div T_2$ -ро чунин ифода кардан мумкин аст:

$$\langle C \rangle = \int_{T_1}^{T_2} \left( a + bT + \frac{k}{T^2} \right) dT \quad \text{ё ки} \quad \langle C \rangle = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + kT^2 + dT^3) dT.$$

Баъди интегронӣ ифодаҳои зерин ҳосил мешаванд:

$$\langle C \rangle = a + b \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{k}{T_1 T_2}$$

$$\langle C \rangle = a + b \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{k(T_2^3 - T_1^3)}{T_2 - T_1} + \frac{d(T_2^4 - T_1^4)}{T_2 - T_1}.$$

Ин муодилаҳо танҳо дар соҳаи температураҳое, ки таҷрибавӣ омехта шудаанд, қобили қабуланд.

Гармиғунҷоиши омехтаҳо (газӣ, маҳлулҳо, суспензияҳо, эмулсияҳо) дар мавриди байни чузъҳо набудани таъсири химиявӣ бо қоидаи аддитивно-кӣ ҳисоб карда мешавад:

а) гармиғунҷоиши молӣ:

$$C_{\text{омехта}} = x_1 c_1 + x_2 c_2 + \dots + x_n c_n = \sum_{i=1}^n x_i c_i,$$

ки дар ин ҷо  $x_i$  ва  $c_i$  – мувофиқан ҳиссаи молӣ ва гармиғунҷоиши моли компонентҳои омехта мебошанд,

б) гармиғунҷоиши хос:

$$C_{\text{омехта(хос)}} = \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2 + \dots + \omega_n c_n = \sum_{i=1}^n \omega_i c_i,$$

ки дар ин ҷо  $\omega_i$  ва  $c_i$  – мувофиқан ҳиссаи массавӣ ва гармиғунҷоиши хоси компонентҳои омехтаанд,

с) гармиғунҷоиши ҳаҷмӣ:

$$C_{\text{омехта}} = \varphi_1 c_1 + \varphi_2 c_2 + \dots + \varphi_n c_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i c_i,$$

ки дар ин ҷо  $\varphi_i$  ва  $c_i$  – мувофиқан ҳиссаи ҳаҷмӣ ва гармиғунҷоиши ҳаҷмии компонентаҳои омехта ҳастанд.

*Схемаи инкрементӣ* – ҳисоби гармиғунҷоиши моддаҳои органикӣ бо роҳи ҷамъкунии саҳми гурӯҳҳо дар ташкилдиҳанда(инкрементҳо)-и гармиғунҷоиши он.

Бузургии баъзе саҳмҳои гурӯҳии гармиғунҷоишҳои изобарӣ ( $T=293\text{K}$ ):

Атом ё гуруҳ	$C_p$ , $\text{Ҷ}/(\text{мол}\cdot\text{К})$
- CH <sub>3</sub>	41,32
- CH <sub>2</sub> -	26,45
- CN	58,16
- C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	127,61
-CH=	22,69
-O-	35,02
-NH <sub>2</sub>	63,60
-COOH	79,90
-COO-	60,75
-CO-	61,50

Вобастагии гармиғунҷоиши хоси газҳо ба температура  $\text{Ҷ}/(\text{кг К})$

$t$ , °C	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Буғи об	Ҳаво
0	654,8	742,3	743,7	625,9	1398,0	716,4
100	663,2	742,7	744,8	677,0	1411,4	719,3
200	675,3	746,5	749,4	721,4	1432,3	724,3

300	690,0	751,9	757,0	759,3	1457,4	731,9
400	705,1	759,9	766,6	793,8	1486,3	741,5
500	719,3	769,1	777,5	824,0	1516,0	751,9
600	732,7	779,2	789,2	850,8	1547,4	762,4
700	744,8	790,0	800,9	864,6	1580,5	773,3
800	755,7	800,5	812,2	896,4	1614,0	784,2
900	765,8	811,0	823,1	915,7	1648,3	794,2
1000	775,0	821,0	833,6	933,2	1682,3	803,9
1100	783,4	830,2	843,2	949,6	1715,8	812,7
1200	791,3	839,5	856,6	963,8	1748,8	821,5
1300	798,4	847,8	860,8	977,2	1781,5	829,4
1400	805,1	855,8	868,8	989,3	1812,9	836,9
1500	811,4	863,3	876,3	1000,6	1843,4	844,1
1600	817,3	870,4	883,0	1010,7	1872,8	850,8
1700	823,1	877,1	889,3	1020,3	1901,6	857,0
1800	828,6	883,0	895,6	1029,1	1929,3	863,3
1900	834,0	888,9	901,4	1037,1	1955,2	868,8
2000	839,0	894,3	906,6	1044,6	1980,4	874,2
2100	844,1	899,7	911,5	1051,7	2005,1	879,2
2200	849,1	904,8	916,1	1058,0	2028,1	884,3
2300	853,7	909,4	920,7	1063,9	2050,3	888,9
2400	858,3	913,6	924,9	1069,7	2072,0	893,0
2500	862,9	917,7	929,1	1074,9	2092,6	897,2

## § 2.7 Протсесҳои адиабатӣ

Тавре, ки зикр ёфт, протсеси адиабатӣ, протсесест, ки дар системаи физикавӣ бе муболилаи гармӣ бо муҳити атроф воқеъ мешавад. Протсеси адиабатиро дар системаи аз гармӣ изолятсияшуда амалӣ кардан мумкин аст:  $\delta Q = 0$ ,  $dU + \delta A = 0$ ,  $C_V dT + PdV = 0$ .

Аз муодилаи ҳолати гази идеалӣ барои як мол газ  $P = RT/V$  ва

$$C_V dT + RT \frac{dV}{V} = 0 \quad \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V} = 0.$$

Мувофиқи муодилаи Майер  $R = C_p - C_V$  ва  $\frac{R}{C_V} = \gamma - 1$ , ки дар ин ҷо

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} \text{ мебошад. Аз ин рӯ: } \int \frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \int \frac{dV}{V} = 0 \quad \ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{const};$$

$$\ln T + \ln V^{\gamma-1} = \text{const}; \quad \ln T \cdot V^{\gamma-1} = \text{const};$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (2.10)$$

буданашон бармеояд.

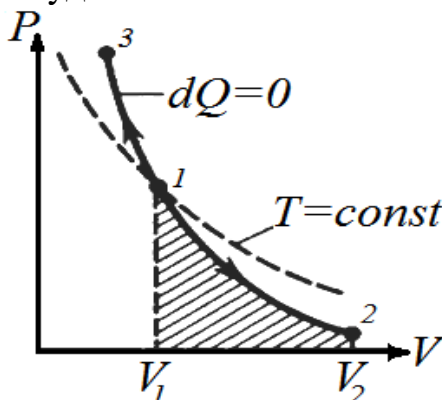
Барои муодилаи адиабатиро барои ҷуфтҳои дигари параметрҳои ҳолат ҳосил кардан аз муодилаи ҳолати гази идеалӣ  $PV = RT$  истифода мебарем. Масалан,  $T = \frac{PV}{R}$  ва  $\frac{PV}{R} V^{\gamma-1} = \text{const}$

$$PV^\gamma = \text{const.} \quad (2.11)$$

Ё ки  $V = RT/P$  ва  $P \frac{T^\gamma}{P^\gamma} = \text{const}$ , аз ин чо:

$$P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{const.} \quad (2.12)$$

Дар расми 2.6 вобастагии фишор ба ҳаҷм дар протсессҳои изотермӣ ва адиабатӣ нишон дода шудааст.



Расми 2.6

Ҳангоми васеъшавии изотермӣ фишори газ танҳо аз ҳисоби камшавии зичии он паст мешавад. Дар протсеси адиабатӣ бошад, фишори газ ҳам аз ҳисоби камшавии зичӣ кам мешаваду ҳам аз ҳисоби пастшавии температура. Аз ҳамин сабаб ҳангоми васеъшавӣ дар протсеси адиабатӣ назар ба изотермӣ фишори газ зудтар кам мешавад. Ҳаракати ҳаво амудӣ ба болою поён мисли протсеси адиабатӣ аст. Бо афзудани баландӣ аз сатҳи Замин фишори атмосферӣ кам мешавад ва ҳангоми массаи муайяни ҳаво ба қисми болоии атмосфера баромадан васеъ шуда хунук мешавад. Ҳангоми ба поён ҳаракат кардани ҳаво адиабатӣ фишурда шудаву гарм мешавад.

Барои ҳисоби кори газ дар протсеси адиабатӣ ба эътибор мегирем, ки  $PV^\gamma = P_1 V_1^\gamma$  ва  $P = \frac{P_1 V_1^\gamma}{V^\gamma}$

мебошанд, аз ин рӯ формулаҳои зерин ҳосил мешаванд:

$$A_{ad} = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV, \quad A_{ad} = P_1 V_1^\gamma \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} \left[ \frac{1}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \right],$$

$$A_{ad} = \frac{R_1 T_1}{1-\gamma} \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right]. \quad (2.13)$$

Вобастагии ҳаҷмро аз температура дар протсеси адиабатӣ ба назар мегирем:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad A_{ad} = \frac{R_1 T_1}{1-\gamma} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right), \quad A_{ad} = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}. \quad (2.14)$$

Нисбати гармиғунҷоишҳо  $\gamma$ -ро таҷрибавӣ муайян кардан мумкин аст. Агар газ ниҳоят тунук бошад, онро идеалӣ ҳисоб карда  $\gamma$ -ро ба воқеаи адади дараҷаҳои озод ҳам ҳисоб кардан мумкин аст. Масалан, ба-

рои газҳои якатома  $i=3 \gamma = \frac{5}{3} = 1,67$ , барои газҳои дуатомаи сахт:  $i=5$   
 $\gamma = \frac{7}{5} = 1,4$  ва барои газҳои бисёратомаи сахт:  $i=6 \gamma = \frac{8}{6} = 1,33$  мебошанд.

Ҳангоми васеъшавӣ газ хунук мешавад ( $T_1 > T_2$ ) кори газ мусбат асту ҳангоми фишурдашавӣ газ гарм мешавад ва кори қувваҳои берунӣ мусбат аст.

## § 2.8 Протсесҳои политропӣ

Протсесҳое, ки дар онҳо гармиғунҷоиши система доимӣ мемонад, протсеси политропӣ (поли - бисёр ва тропос- хосият) меноманд. Дар изопротсесҳо гармиғунҷоиш доимӣ аст. Масалан, барои протсеси изотермӣ ( $T=\text{const}$ )  $C_T = \pm \infty$ , изохорӣ ( $V=\text{const}$ )  $C_V$ , изобарӣ ( $P=\text{const}$ )  $C_P$  ва дар протсеси адиабатӣ  $C_{\text{ad}} = 0$ .

Барои протсесҳои политропӣ қонуни якуми термодинамикаро дар намуди:  $CdT = C_V dT + PdV$  сабт кардан мумкин аст. Ба ин формула

$P = RT/V$  – ро гузошта муодилаи зеринро ҳосил мекунем:

$$(C_V - C)dT + RT \frac{dV}{V} = 0 \quad \text{ва} \quad \frac{dT}{T} + \frac{C_P - C_V}{C_V - C} \frac{dV}{V} = 0$$

Нишондиҳандаи политропиро бо  $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$  ишорат менамоем, он

гоҳ чунин таносубҳо ҷой доранд:

$$n - 1 = \frac{C - C_P}{C - C_V} - 1 \quad \text{ва} \quad n - \Gamma = \frac{C_P - C_V}{C_V - C};$$

$$\frac{dT}{T} + (n - 1) \frac{dV}{V} = 0;$$

$$\int \frac{dT}{T} + (n - 1) \int \frac{dV}{V} = 0; \quad \ln T + (n - 1) \ln V = \text{const};$$

$$TV^{n-1} = \text{const}. \quad (2.15)$$

Агар дар муодилаи охири  $T = PV/R$ -ро гузорем, баробарии

$$\frac{PV}{R} \cdot V^{n-1} = \text{const}$$

$$PV^n = \text{const} \quad (2.16)$$

ҳосил мешавад. Мавриди ба эътибор гирифтани  $V = \frac{RT}{P}$

ин баробариро чунин пешниҳод карда метавонем:

$$P \frac{T^n}{P^n} = P^{1-n} T^n = \frac{T^n}{P^{n-1}} = \text{const}. \quad (2.17)$$

Нишондиҳандаи политропиро доништа, аз муодилаи политропа муодилаҳои ҳолатро барои ҳар чор изопротсес ҳосил кардан мумкин аст:

1) Протсеси изотермӣ:  $C = \pm \infty$  ва  $n = 1$ .  $PV = \text{const}$   $T = \text{const}$ .

2) Протсеси изобарӣ:  $C = C_P$  ва  $n = 0$ .  $P = \text{const}$   $\frac{V}{T} = \text{const}$ .



3) Протсеси изохорӣ:  $C = C_V$  ва  $n = \pm \infty$ .  $V = \text{const } P/T = \text{const}$ .

4) Протсеси адиабатӣ:  $C = 0$  ва  $n = \gamma$ .  $PV^\gamma = \text{const } TV^{\gamma-1} = \text{const } P^{1-\gamma}T^\gamma = \text{const}$

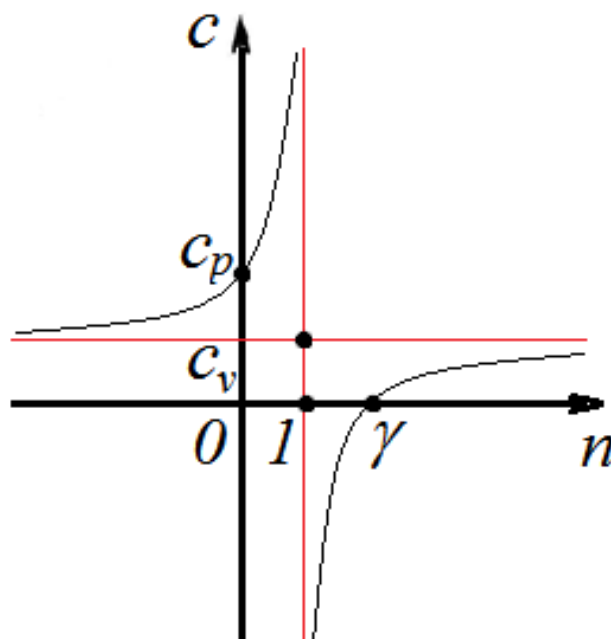
Гармиғунҷоиши як мол газ дар протсеси политропӣ:

$$C = \frac{nC_V - C_P}{n - 1} = \frac{R}{\gamma - 1} - \frac{R}{n - 1} = \frac{(n - \gamma)R}{(n - 1)(\gamma - 1)} = C_V \frac{n - \gamma}{n - 1}$$

буданаш маълум мегардад.

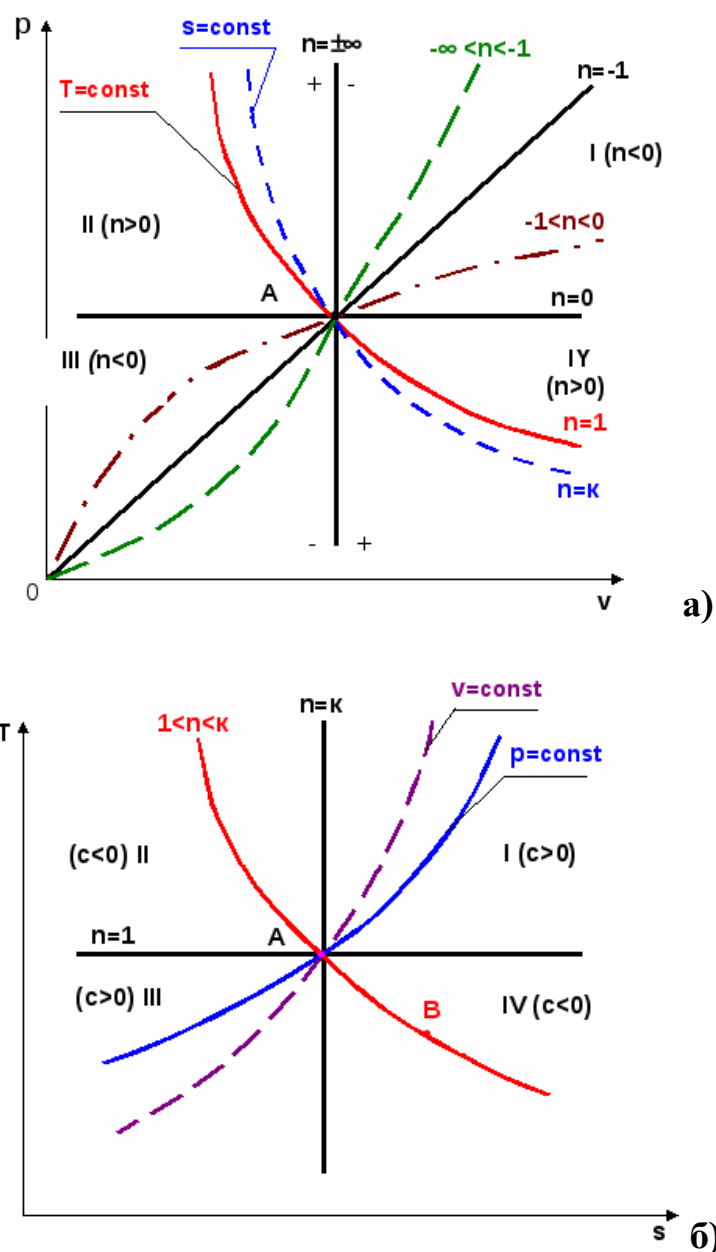
Дар ҷадвали зер ва расми 2.7 вобастагии гармиғунҷоиши газ аз нишондиҳандаи политропӣ барои протсесҳои политропии асосӣ оварда шудаанд.

	$n$	$C$
Протсеси изобарӣ	0	$C_P$
Протсеси изотермӣ	1	$\infty$
Протсеси адиабатӣ	$\gamma$	0
Протсеси изохорӣ	$\infty$	$C_V$



Расми 2.7

Дар расмҳои 2.8 а ва 2.8 б графикҳои протсеси политропӣ дар  $P, V$  ва  $T, S$  диаграммаҳо тасвир шудаанд.



Расми 2.8

## § 2.9 Энтропияи гази идеалӣ

Дар муодилаи қонуни якуми термодинамика ба ҷои  $P$  аз муодилаи ҳолат  $P = \frac{RT}{V}$ -ро мегузorem:

$$\delta Q = C_v dT + RT \frac{dV}{V}.$$

Ҳар ду тарафи муодиларо ба  $T$  тақсим намуда, таносубҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{\delta Q}{T} = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V},$$

$$\frac{\delta Q}{T} = C_v d \ln T + R d \ln V.$$

Азбаски  $C_V$  ва  $R$  доимианд, онҳоро ба тахти дифференциал дохил мекунем:

$$\frac{\delta Q}{T} = d(C_V \ln T + R \ln V). \quad (2.18)$$

Тарафи рости ин муодила дифференциали пурра аст, аз ин рӯ тарафи чапаш ҳам бояд дифференциали пурра бошад. Функцияе, ки барои он бузургии  $\frac{\delta Q}{T}$  дифференциали пурра аст, бо  $\frac{\delta Q}{T} = dS$  ишора карда энтропия (аз юн. en- дар дохил, андарун ва tropē – табдил, гардиш) меноманд.

Дар протсессҳои термодинамикӣ на қимати мутлақи энтропия балки тағйироти онро ҳисоб кардан имконпазир аст:

$$S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T}$$

Дар намуди умумӣ тағйироти энтропияи гази идеалӣ чун:

$$S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.19)$$

пешниҳод мешавад.

Барои маънои физикавии энтропияро муайян кардан протсеси изотермӣ васеъшавии газро таҳлил менамоем:  $T = \text{const}$   $\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln 1 = 0$  мебошад, аз ин рӯ тағйироти энтропия чунин намуд мегирад:

$$S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (2.20)$$

Ҳаҷми як мол гази идеалӣ ба тарзи изотермӣ аз  $V_1$  то  $V_2$  васеъ мешавад. Дар як мол газ адади молекулаҳо ба адади Авогадро  $N_A$  баробар аст. Адади ячейкаҳо дар ҳаҷмҳои  $V_1$  ва  $V_2$  бошад,

$$N_1 = \frac{V_1}{\ell^3}, \quad N_2 = \frac{V_2}{\ell^3} \quad \text{ва} \quad \ell^3 \approx 10^{-30} \text{ м}^3 \quad \text{ҳаҷми якто ячейка,} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{мешавад.}$$

Эҳтимолияти он ки дар  $N_1$  ячейка  $N_A$  молекула ба чанд тарз ҷойгир шуда метавонад, чун:

$$\Gamma_{01} = \frac{N_1!}{(N_1 - N_A)!}$$

ва эҳтимолияти он, ки дар  $N_2$  ячейка ҳамон  $N_A$  молекула ба чанд тарз ҷойгир шуда метавонад, чун:

$$\Gamma_{02} = \frac{N_2!}{(N_2 - N_A)!}$$

ҳисоб кардан мебошад.

Барои аз факториал халос шудан формулаи Стирлингро истифода мебарем:

$$\frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}} = \frac{\left(\frac{N_2}{e}\right)^{N_2} \left(\frac{N_1 - N_A}{e}\right)^{N_1 - N_A}}{\left(\frac{N_2 - N_A}{e}\right)^{N_2 - N_A} \left(\frac{N_1}{e}\right)^{N_1}} \quad \frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}} = \frac{N_2^{N_2} (N_1 - N_A)^{N_1 - N_A}}{(N_2 - N_A)^{N_2 - N_A} N_1^{N_1}}$$

Адади молекулаҳо назар ба адади ячейкаҳо ниҳоят кам аст. Аз ин сабаб дар асосҳо адади  $N_A$ -ро ба назар намегирем, аз ин рӯ:

$$\frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}} = \frac{N_2^{N_2} N_1^{N_1 - N_A}}{N_2^{N_2 - N_1} N_1^{N_1}} = \frac{N_2^{N_2} N_1^{N_1} N_2^{N_A}}{N_2^{N_2} N_2^{N_1} N_1^{N_1}} \quad \text{ва} \quad \frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}} = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^{N_A} \quad \ln \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{N_A} \ln \frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}} \text{-ро ба фор-}$$

мулаи (2.20) гузошта ифодаи зеринро ҳосил мекунем:  $S_2 - S_1 = \frac{R}{N_A} \ln \frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}}$

Болтсман мутаносибии энтропия ва адади микроҳолатҳои имконпазирро пешгӯи карда буд. Формулаи тағйироти энтропияи системаро дар ин шакл Планк исбот кард ва нисбати  $\frac{R}{N_A} = k$  -ро доимии Болтсман номид. Тағйироти энтропияро ба намудҳои

$$S_2 - S_1 = k \ln \frac{\Gamma_{02}}{\Gamma_{01}}$$

$$S_2 - S_1 = k \ln \Gamma_{02} - k \ln \Gamma_{01}, \quad (2.21)$$

пешниҳод карда, ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$S = k \ln \Gamma_0. \quad (2.22)$$

Энтропия нишон медиҳад, ки макроҳолати системаи додасуда бо чанд микроҳолат амалӣ мегардад. Масалан, қисми саҳт ҳамагӣ бо як микроҳолат муайян карда мешавад. Дар газҳо ҳамеша система ба ҳолати мувозинатӣ майл мекунад. Яъне, дар ҳолати мувозинатӣ энтропияи система максималӣ аст.

Мувофиқи формулаи (2.19) тағйироти энтропияро барои изопротсессҳо муайян мекунем:

$$1) T = const \quad S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Ҳангоми изотермӣ васеъ шудани газ адади ячейкаҳо меафзояд ва адади микроҳолатҳои имконпазирӣ система ҳам зиёд мешавад. Яъне, ҳангоми васеъшавии газ энтропияи он меафзояд. Ҳангоми фишурдашавӣ адади ячейкаҳо кам мешаваду адади микроҳолатҳои имконпазир ҳам. Аз ин сабаб ҳангоми фишурдашавӣ энтропияи система кам мешавад.

$$2) V = const \quad S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Ҳангоми изохорӣ гарм кардани газ адади ҳолатҳои энергетикӣ имконпазирӣ система зиёд мешавад ва энтропияи он меафзояд.

Дар ҳоли изохорӣ сард кардани газ адади ҳолатҳои энергетикӣ имконпазирӣ система ва миқдори микроҳолатҳо кам мешавад. Ҳамин аст, ки ҳангоми изохорӣ сард кардан энтропияи система кам мешавад.

$$3) P = const \quad S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = C_P \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Мавриди изобарӣ гарм кардани газ ҳам адади ячейкаҳо ва ҳам адади ҳолатҳои энергетикӣ зиёд мешаванд, аз ин сабаб, энтропияи система

меафзояд, ҳангоми сардкунии газ бошад энтропияи он аз ҳисоби коҳиши адади ячейкаҳо ва ҳолатҳои энергетикӣ кам мешавад.

Дар протсеси адиабатӣ вобастагии температура ва ҳаҷмро истифода бурда, барои тағйироти энтропия муодилаҳои зеринро ҳосил мекунем:

$$S_2 - S_1 = C_v(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} + R \ln \frac{V_1}{V_2} \quad S_2 - S_1 = -C_v(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$S_2 - S_1 = [-C_v(\gamma - 1) + R] \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$-C_v \left( \frac{C_p}{C_v} - 1 \right) + R = -C_p + C_v + R = -(C_p - C_v) + R = -R + R = 0$$

$$S_2 = S_1 = S = \text{const}. \quad (2.23)$$

Ҳангоми адиабатӣ васеъ гардидан газ сард мешавад. Аз ҳисоби зиёдшавии адади ячейкаҳо энтропия меафзояд ва бо сабаби коҳиши адади ҳолатҳои энергетикӣ имконпазир энтропия кам ва онҳо ҳамдигарро компенсатсия мекунанду дар натиҷа энтропия бетағйир мемонад. Ҳангоми адиабатӣ газро фишурдан адади ячейкаҳо ва энтропия каму ва дар ҳоли гармшавӣ адади ҳолатҳои имконпазири энергетикӣ ва энтропия ҳамон қадар зиёд мешаванд. Ин каму зиёдшавии энтропия ҳамдигарро компенсатсия мекунанд. Дар натиҷа, энтропия доимӣ мемонад. Аз ин сабаб протсеси адиабатиро ба изопротсесҳо дохил мекунанд ва баъзан протсеси адиабатиро протсеси изоэнтропӣ ҳам меноманд.

Энтропия ҳамчун дигар бузургҳои термодинамикӣ: фишор, ҳаҷм, температура, энергияи дохилӣ ва энталпия функцияи ҳолат мебошад, яъне танҳо ба ҳолати ибтидоӣ ва интиҳои система вобаста аст.

## § 2.10 Протсесҳои термодинамикӣ даврӣ (сиклҳо)

Протсеси даврӣ (сиклӣ) протсесест, ки дар ҷараёни он системаи физикавӣ ба як қатор тағйирот дучор шуда, боз ба ҳолати ибтидоиаш бармегардад. Дар охири протсес параметрҳои термодинамикӣ, ки функцияи ҳолатанд (температура, фишор, ҳаҷм, энергияи дохилӣ ва ғ.), боз ба қиматҳои ибтидоиашон соҳиб мешаванд ва тағйироти онҳо ҳангоми протсесҳои даврӣ ба сифр баробар аст. Агар дар натиҷаи протсеси даврӣ система бар ҷисмҳои беруна кор иҷро кунад ва миқдори муайяни гармӣ аз ҷисми гарм (гармидеҳ) ба ҷисми хунук (гармигир) гузарад, протсеси даврӣ роста, агар дар натиҷаи протсеси даврӣ аз ҳисоби кори қувваҳои беруна миқдори муайяни гармӣ аз гармигир ба гармидеҳ гузарад, протсеси даврӣ чаппа ҳисобида мешавад.

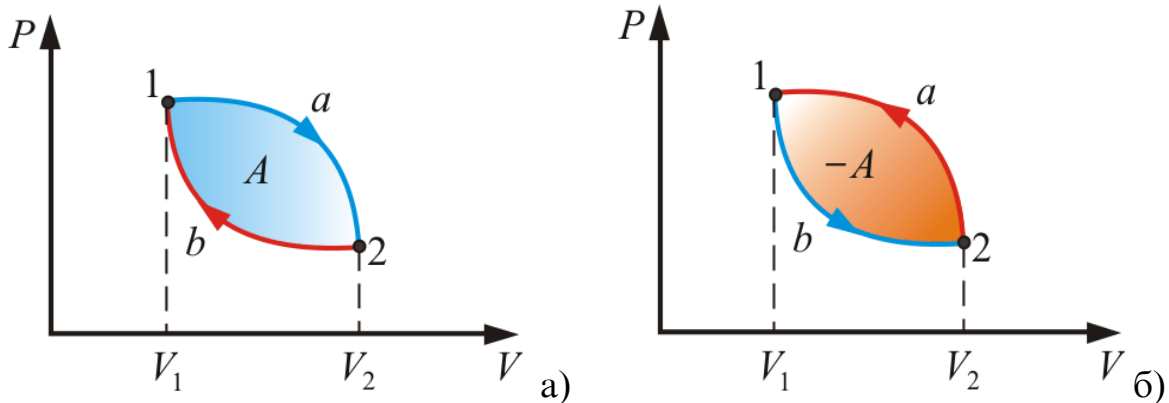
Кори иҷрошуда ба масоҳати шакле, ки ба рафти он протсесси даврӣ сурат мегирад баробар аст.

$$\oint \delta Q = \oint dU + \oint \delta A. \quad (2.24)$$

Дар протсесҳои сиклӣ интеграл аз функцияи дилҳои ҳолат баробари сифр аст:  $\oint dU = 0$ . аз ин рӯ:

$$\oint \delta Q = \oint \delta A = A \quad (2.25)$$

мешавад.



Расми 2.9. Сикли роста ва сикли чаппа

Дар протсеси сиклї самти гузаришро нишон додан шарт аст. Масалан, аз рӯи хатти **a** система аз ҳолати 1-ум ба ҳолати 2-юм ва аз рӯи хати **b** аз ҳолати 2 ба 1 мегузарад (расми 2.9 а). Дар ин маврид кори иҷрошударо чунин ҳисоб карда метавонем:

$$A = \int_{(1)a}^{(2)} PdV + \int_{(2)b}^{(1)} PdV.$$

Коре, ки дар протсеси чаппа иҷро мешавад (расми 2.9 б):

$$A' = \int_{(1)b}^{(2)} PdV + \int_{(2)a}^{(1)} PdV = - \int_{(2)b}^{(1)} PdV - \int_{(1)a}^{(2)} PdV = -A. \quad (2.26)$$

Дар протсеси роста кор аз ҳисоби миқдори гармие, ки система қабул мекунад иҷро мешаваду дар протсеси чаппа аз ҳисоби кори иҷрошуда миқдори гармии ададан ба он баробар хориҷ мегардад.

Гузариш аз як ҳолат ба дигараш дар асоси қонуни якуми термодинамика рӯй медиҳад:  $dU + \delta A = 0$

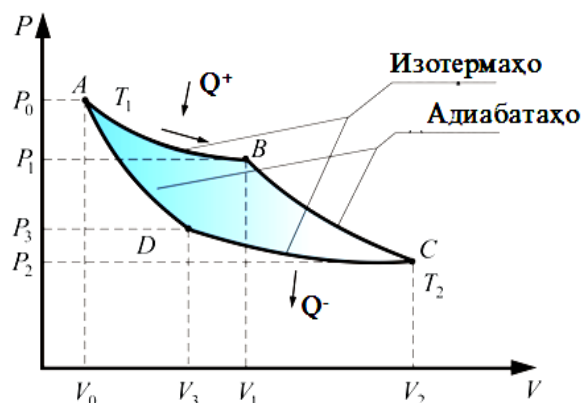
Мошинҳое, ки аз ҳисоби миқдори гармӣ кор иҷро мекунанд, мошинҳои ҳароратӣ ном гирифтаанд. Ҳар гуна мошини ҳароратӣ аз се қисми асосӣ: манбаи гармӣ (гармидех), қисми корӣ ва гармигир (масалан, муҳити атроф) иборат аст. Қисми корӣ аз манбаи гармии температурааш  $T_1$  миқдори гармии  $Q^+$ -ро мегираду аз ҳисоби он кори ғоиданоки  $A$  иҷро мегардад ва миқдори гармии  $Q^-$  ба гармигири температурааш  $T_2$  дода мешавад. Азбаски баъди анҷоми сикл қисми корӣ ба ҳолати ибтидоии худ бармегардад, тағйироти энергияи дохилии он баробари сифр ( $\Delta U = 0$ ) мешавад. Дар протсесҳои даврӣ кори иҷрошуда ба фарқи миқдори гармиҳои аз гармидех гирифтаву ва ба гармигир дода баробар аст:  $A = Q^+ + Q^-$ . Самаранокии мошинҳои ҳароратиро бо коэффисиенти кори ғоиданок (ККФ)-и он муайян мекунанд. ККФ-и мошин ба нисбати кори иҷрошуда дар як давр ба миқдори гармии аз гармидех гирифтааш баробар аст:  $\eta = \frac{A}{Q^+}$ , аз ин рӯ:

$$\eta = \frac{Q^+ + Q^-}{Q^+} = 1 + \frac{Q^-}{Q^+}. \quad (12.27)$$

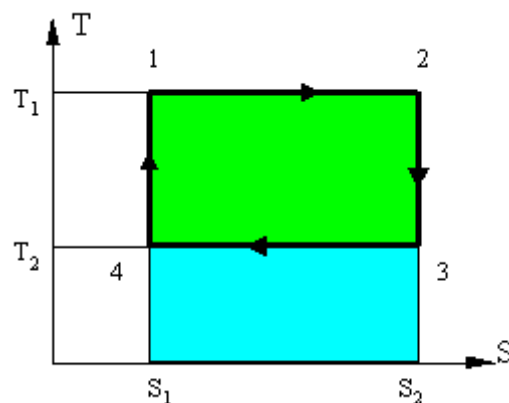
Азбаски як қисми миқдори гармӣ ба гармигир дода мешавад, ККФ-и мошинҳои ҳароратӣ ҳамеша аз як кам аст  $\eta < 1$ .

## § 2.11 Сикли Карно

Сикли Карно аз ду изотерма ва ду адиабата иборат аст (расми 2.10). Аввалан система изотермӣ васеъ мешавад ва миқдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда пурра барои кори васеъшавӣ сарф мегардад. Баъд система адиабатӣ васеъ мешавад. Дар натиҷа, температура то  $T_2$  паст мешавад. Баъд аз он системаро изотермӣ то ҳаҷми  $V_4$  мефишуранд. Аз ҳисоби кори иҷрошуда система ба муҳити атроф гармии  $Q^-$  ро медиҳад. Дар охир ба тарзи адиабатӣ системаро то ҳолати ибтидоӣ мефишуранд. Дар натиҷа, газ гарму температурааш ба температураи ибтидоиаш баробар мешавад.



Расми 2.10



Расми 2.11 Шакли сикли Карно дар тағйирёбандаҳои  $T$  ва  $S$

ККФ-и ин сикло чун:  $\eta_k = 1 + \frac{Q^-}{Q^+}$  ҳисоб карда метавонем. Миқдори гармии система гирифтагӣ ба кори изотермӣ васеъшавии система баробар аст:  $Q^+ = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ . Ҳангоми изотермӣ фишурдан миқдори гармии хориҷшуда ба кори иҷрокардаи қувваҳои беруна баробар мешавад:  $Q^- = RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$ . Пас нисбати зерин ҷой дорад:

$$\frac{Q^-}{Q^+} = \frac{T_2 \ln \frac{V_4}{V_3}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}.$$

Аз муодилаҳои протсеси адиабатӣ вобастагии ҳаҷмҳоро меёбем:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \quad \text{ва} \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}.$$

$$\text{Аз ин ҷо } \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \text{ ва } \frac{Q^-}{Q^+} = \frac{-T_2}{T_1} \frac{\ln \frac{V_2}{V_1}}{\ln \frac{V_2}{V_1}} = -\frac{T_2}{T_1}.$$

ККФ барои сикли Карноро чун

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (2.28)$$

ҳисоб карда метавонем.

Барои баҳо додан ба коэффисиенти кори фоиданок (ККФ)-и сикли Карно дониستاني температураҳои гармидеҳ ва гармигир кифоя аст. ККФ-и сикли Карно ҳамеша хурд аз як аст:  $\eta_k < 1$ . Барои он ки ККФ ба як наздик шавад ё температураи гармидеҳро беохир зиёд, ё ки температураи гармигирро то наздикии 0 К паст кардан лозим меояд. Азбаски барои температураи мухитро паст кардан иҷрои кор ҳатмист, ККФ-и чунин мошинҳои ҳароратӣ хеле кам мешавад. Аз ин сабаб, температураи гармигирро ба температураи мухити атроф баробар қабул мекунанд.

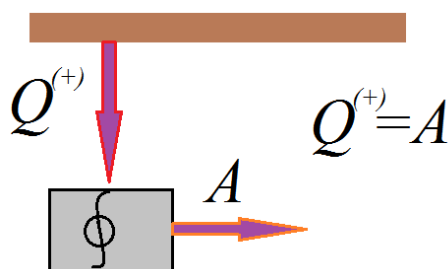
ККФ-и сикли Карноро ба воситаи энтропия (расми 2.11) ҳисоб кардан осон аст:

$$Q^+ = T_1(S_2 - S_1) \quad Q^- = T_2(S_4 - S_3) = T_2(S_1 - S_2) = -T_2(S_2 - S_1)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Аз ин мулоҳизаронӣ маълум мешавад, ки барои ҳисоби ККФ-и сикли Карно роҳи дуум хеле кӯтоҳтару фаҳмотар мебошад. С. Карно нишон дод, ки ККФ-и мошини ҳароратии идеалӣ танҳо бо температураҳои гармидеҳу гармигир ( $T_1$  ва  $T_2$ ) муайян карда мешавад ва ба хосиятҳои ҷисми корӣ вобаста нест.

Келвин ба қонуни дууми термодинамика чунин таъриф дода буд: Протсессеи давриё, ки натиҷаи ягонаи он аз ҳисоби гармидеҳ иҷро кардани кор мебошад, номумкин аст (расми 2.12).

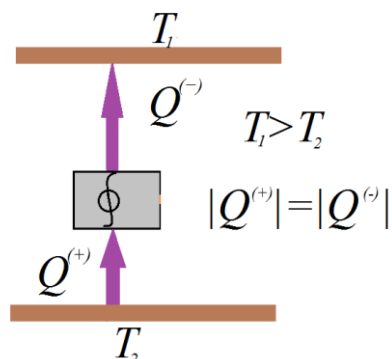


Расми 2.12 Намоиши схематикӣ қонуни дууми термодинамика мувофиқи таърифи Келвин

Мувофиқи таърифи Клаузиус, дар мухити атроф ягон дигаргунӣ ба амал наомада, гармӣ худ аз худ аз ҷисми сард ба ҷисми гарм намегузарад. Аз ин таъриф бармеояд, ки барои чунин гузариш манбаи беруна бояд кор иҷро кунад. Протсессҳои дар расми 2.13 тасвирёфта имконнопазир аст ва

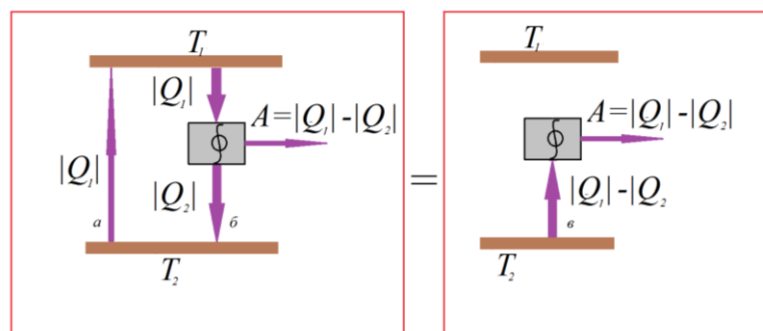


онро таърифи қонуни дуҷуми термодинамика, ки Келвин пешниҳод кардааст, тасдиқ мекунад. Мошини ҳароратии танҳо бо гармидеҳ амалкунанда номумкин аст, яъне протсессҳои даврии, ки дар он ҳамаи миқдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда пурра ба қор мубадал мешавад, номумкин аст.



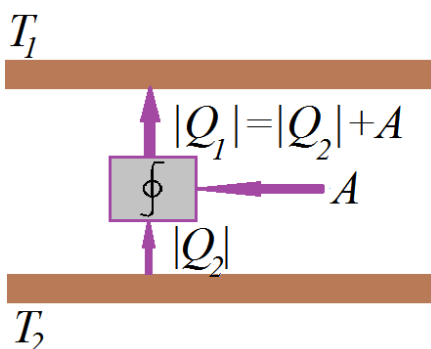
Расми 2.13 Намоиши схематикӣ қонуни дуҷуми термодинамика мувофиқи таърифи Клаузиус

Сиклҳои дилхоҳи имконпазиро дар термодинамикаи техникӣ меомӯзанд.



Расми 2.14 Ибтидои схематикӣ эквивалентии таърифҳои қонуни дуҷуми термодинамика, ки Келвин ва Клаузиус пешниҳод кардаанд.

Ҳангоми сикли чаппа мошин қор иҷро намекунад, баръакс қувваҳои берунӣ бар он қор иҷро мекунанд. Қисми қорӣ аз ҳисоби манбаи беруна қори А-ро иҷро карда, миқдори гармии  $Q_2$ -ро аз соҳаи температурааш нисбатан пасти  $T_2$  (масалан, ҳаҷми яхдон) мегираду миқдори гармии зиёдтари  $Q_1$ -ро ба муҳити атрофи температурааш  $T_1$  медиҳад. Яъне, гармӣ аз қисми сард ба қисми гарм аз ҳисоби қори қувваҳои берунӣ гузаронида мешавад. Ин гуна мошинро вобаста ба таъиноташ мошини хунуккунак (яхдон), ё ки гармкунак меноманд. Схемай қори яхдон дар расми 2.15 тасвир ёфтааст.



Расми 2.15      Схеми кори яхдон

Самаранокии мошин вобаста ба таъиноташ ду хел мешавад.

Агар ба самаранокии мошин аз рӯи қобилияти зиёдкунии температураи ҷисми гарм баҳо дода шавад, яъне мошин ҳамчун гармкунак кор кунад, самаранокиаш бо коэффисиенти зерин тавсиф меёбад (нисбати миқдори гармии барои гармкунӣ додасуда ба кори иҷрокардаи қувваҳои берунӣ):

$$\xi_1 = \frac{|Q_1|}{|A|} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{1}{1 - (T_2/T_1)} = \frac{1}{\eta}. \quad (2.29)$$

Агар ба самаранокии мошин аз рӯи қобилияти пасткунии температураи ҷисми сардтар баҳо дода шавад, яъне мошин ҳамчун хунуккунак кор кунад, самаранокиаш бо коэффисиенти яхдон тавсиф мешавад (нисбати гармии аз ҷисми сард гирифташуда  $|Q_2|$  бар кори қувваҳои берунӣ ( $A^1 = |Q_1| - |Q_2|$ ) коэффисиенти яхдон ном гирифтааст):

$$\xi_2 = \frac{|Q_2|}{|A|} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\eta} - 1. \quad (2.30)$$

Дар формулаҳои (2.29) ва (2.30) бузургҳои  $|Q_1|$ ,  $|Q_2|$  ва  $|A|$  бо ҳамон формулаҳои ҳисоб меёбанд, ки бо онҳо  $\eta$  ҳисоб карда мешавад. Барои аёнӣ тасвири протсессҳо (дар расми 2.15 ва формулаҳои 2.29 ва 2.30) бузургҳои мутлақи миқдори гармӣ ва кор истифода шуд, на бузургҳои алгебравии онҳо.

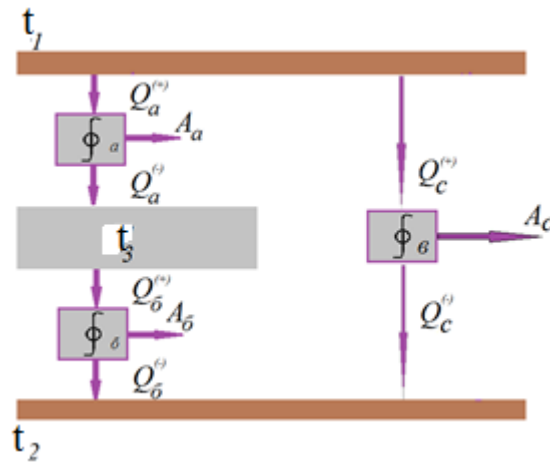
## § 2.12 Шкалаи термодинамикии мутлақи температура

Пеш аз исботи шкалаи термодинамикии мутлақи температура теоремаи якуми Карно баррасӣ менамоем.

Ҳамаи мошинҳои ҳароратие, ки аз рӯи сикли Карно кор мекунанд ва температураи гармидеҳу гармигирашон якандоза аст, ККФ-и баробар доранд. Дар ин маврид ККФ-и сикли Карно ба ҷисми корӣ ва конструксияи мошинҳо вобаста нест. Яъне, ККФ-и сикли Карно танҳо функцияи

температураи гармидеҳ ва гармигир мебошад:  $\eta = 1 + \frac{Q^-}{Q^+}$ ;  $\frac{Q^-}{Q^+} = \varphi(t_2, t_1)$

$t_2, t_1$  - температура аз рӯи шкалаи таҷрибавӣ ҳисоб меёбанд.



Расми 2.16

Мувофиқи теоремаи Карно, барои ҳарду ҳолат ҳам ККФ якандоза мебошад. Аз ин ҷо миқдорҳои гармии аз гармидеҳ гирифташуда ва ба гармигир интиқолифта дар ҳар ду ҳолат ҳам баробаранд:  $Q_A^+ = Q_C^+$  ва  $Q_B^- = Q_C^-$ . Барои он ки температураи термостати сеюм тағйир наёбад, бояд, ки  $Q_A^- = -Q_B^+$  шавад (расми 2.16). Аз ин рӯ таносубҳои зерин ҷой доранд:

$$\frac{Q_C^-}{Q_C^+} = \varphi(t_2, t_1); \varphi(t_2, t_1) = -\frac{Q_B^- Q_A^-}{Q_A^+ Q_B^+} = -\varphi(t_3, t_1) \varphi(t_2, t_3) \quad \text{ва} \quad \varphi(t_2, t_1) = -\varphi(t_3, t_1) \varphi(t_2, t_3).$$

Тарафи рости муодила ба  $t_3$  вобаста асту тарафи чап ба  $t_3$  вобаста нест. Барои ин чунин қабул карданд, ки дар ҳар ду тараф  $t_3$  ихтисор шавад:

$$\varphi(t_3, t_1) = \frac{\varphi(t_3)}{\varphi(t_1)}; \quad \varphi(t_2, t_3) = \frac{\varphi(t_2)}{\varphi(t_3)}; \quad \varphi(t_2, t_1) = -\frac{\varphi(t_2)}{\varphi(t_1)}.$$

Агар ба ҷои  $\varphi(t)$  ягон  $A \cdot \varphi(t)$  ҳам гирем, натиҷа тағйир намеёбад. Аз ин сабаб Келвин, нисбати ин функцияҳоро ҳамчун нисбати температураҳо қабул кард:  $\frac{\varphi(t_2)}{\varphi(t_1)} = \frac{T_2}{T_1}$ . Азбаски барои исботи ин шкалаи температура

танҳо аз қонунҳои термодинамика истифода бурда шуд ва ба ҷисми температуравию бузургии температуравӣ вобаста нест, онро шкалаи термодинамикии мутлақи температура меноманд. Воҳиди температура дар ин шкала бо келвинҳо, мухтасар К (ба шарафи физики англис У. Томсон, ки ин шкаларо пешниҳод карда буд ва унвони ашрафӣи лорд Келвинро гирифт). Аз рӯи ин шкала ККФ-и сикли Карно  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$  ҳисоб меёбад. Барои

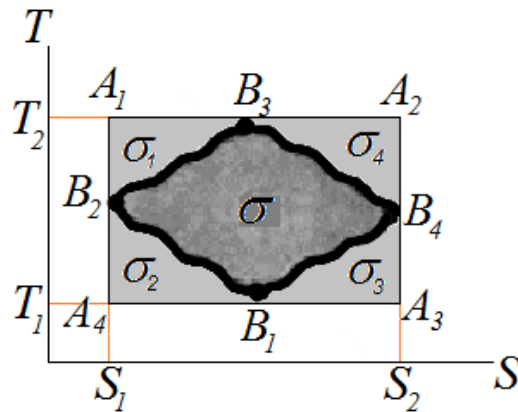
ККФ-и сикли Карно боз ҳамон формула бармеояд, ки температура дар шкалаи газӣ гирифта шуда буд. Пас, ҳамаи он температурае, ки то ин дам аз рӯи шкалаи газӣ дарёфтем, температураи мутлақи термодинамикӣ мебошад.

Дар қатори ин шкалаи температура шкалаи селсияро ҳамчун шкалаи таҷрибавӣ истифода мебаранд, чунки дар он фарқи температураи ҷӯшиши об ва температураи яхшавии он дар фишори як атмосфера

100°C аст. Азбаски 1°C ба 1К баробар аст, дар таҷриба шкалаи Селсия дар баробари шкалаи термодинамикии мутлақи температура истифода бурда мешавад. Дар шкалаи Келвин температураи манфӣ номумкин аст.

### § 2.13 Қонуни дуҷуми термодинамика

Барои исботи қонуни дуҷуми термодинамика нахуст теоремаи дуҷуми Карно баррасӣ менамоем. Коэффисиенти кори ғоиданоки мошинҳои бебозгашт назар ба ККФ-и мошинҳои баргардандае, ки температураҳои гармидеҳ ва гармигирашон баробаранд, ҳамеша хурд аст. ККФ-и мошини баргардандаи дилхоҳ аз ККФ-и мошини баргардандаи аз рӯи сикли Карно коркунанда, ки температураҳои гармидеҳ ва гармигирашон баробаранд, ҳамеша кам аст. Барои исбот аз диаграммаи T-S истифода мекунем:



Расми 2.17

Сикли  $A_1A_2A_3A_4A_1$  (расми 2.17) ба сикли Карно дахл дорад. Дар сикл тағйироти энергияи дохилӣ баробари сифр аст:

$$\oint \delta Q = \oint du + \oint \delta A \quad \oint \delta Q = \oint \delta A$$

Ин ҷо « $\oint$ » маънои суммаи бузургҳои ниҳоят хурдро мефаҳмонад.

Кори иҷрошуда дар сикли Карно чун  $A_k = T_1(S_2 - S_1) + T_2(S_1 - S_2)$  ё ки  $A_k = (T_1 - T_2)(S_2 - S_1)$  ҳисоб меёбад. Миқдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда  $Q_k^+ = T_1(S_2 - S_1)$  асту ККФ-и сикли Карно чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\eta_k = \frac{A_k}{Q_k^+} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Кори иҷрошуда дар сикли ихтиёрие, ки бо ҳамон  $T_1$  ва  $T_2$  кор мекунад, ба масоҳати фигураи ҳосилшуда баробар аст. Ин масоҳатро бо  $B_1B_2B_3B_4B_1$  ишора мекунем. Кори иҷрокардаи ин сикл  $A = (T_2 - T_1)(S_2 - S_1) - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4$ . асту онро бо  $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$ -ро бо  $\Delta_{1234}$  ишора мекунем. Пас  $A = A_k - \Delta_{1234}$ . Миқдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда

$$Q^+ = Q_k^- - \sigma_1 - \sigma_2 = Q_k^+ - \Delta_{12} \quad \text{ва} \quad \Delta_{12} = \sigma_1 + \sigma_2$$

ККФ-и ин сикл ба:

$$\eta = \frac{A}{Q^+} = \frac{A_\kappa - \Delta_{1234}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}} \quad \eta = \frac{\eta_\kappa Q_\kappa^+ - \Delta_{1234}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}} = \frac{\eta_\kappa Q_\kappa^+ - \Delta_{12} - \Delta_{34}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}}$$

$$\eta = \frac{\eta_\kappa Q_\kappa^+ - \eta_\kappa \Delta_{12} + \eta_\kappa \Delta_{12} - \Delta_{12} - \Delta_{34}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}} \quad \eta = \frac{\eta_\kappa (Q_\kappa^+ - \Delta_{12}) + \Delta_{12} (\eta_\kappa - 1) - \Delta_{34}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}}$$

$$\eta = \eta_\kappa - \left( \frac{\Delta_{12} (1 - \eta_\kappa)}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}} + \frac{\Delta_{34}}{Q_\kappa^+ - \Delta_{12}} \right) \quad (2.31)$$

баробар мешавад.

Азбаски ифодаи дохили қавс мусбат (яъне, аз сифр зиёд) аст:  $\eta \leq \eta_\kappa$ .

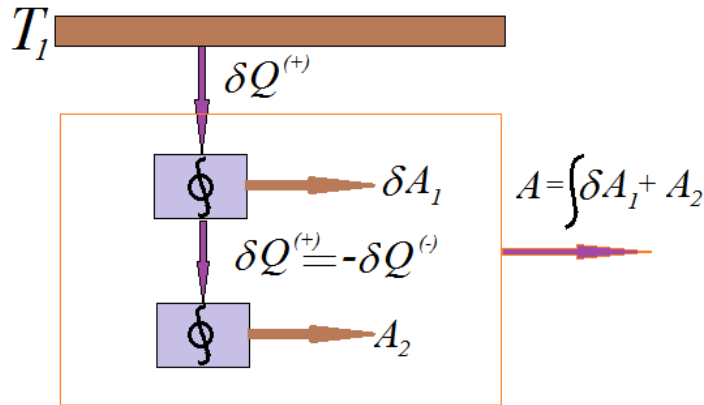
Аломати баробарӣ ба сикли Карно рост меояд:

$$1 + \frac{Q^-}{Q^+} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{Q^-}{Q^+} \leq -\frac{T_2}{T_1}$$

Аломати минус нишон медиҳад, ки аломатҳои  $Q^+$  ва  $Q^-$  гуногунанд.

$$\frac{Q^-}{Q^+} + \frac{T_2}{T_1} \leq 0; \quad \frac{Q^+}{T_1} + \frac{Q^-}{T_2} \leq 0. \quad (2.32)$$

Ин нобарориро нобарории Клаузиус барои сикли Карно меноманд. Аломати баробарӣ барои сикли баргарданда хос аст аломати кам барои сикли бебозгашт. Барои нобаробарии Клаузиусро ба сикли дилхоҳ татбиқ кардан чунин ду мошинро интихоб менамоем, ки якумаш аз рӯи сикли баргарданда кор мекунад дуҷумаш аз рӯи сикли бебозгашт. Даври мошини якум ниҳоят хурд аст ва мошини дуюм ҳамагӣ як давр иҷро мекунад, яъне дар як даври мошини дуюм мошини якум маротибаи зиёд амал менамояд (расми 2.18).



Расми 2.18 Барои исботи нобаробарии Клаузиус дар сикли дилхоҳ

Азбаски даври мошини якум ниҳоят хурд аст, дар давоми он температураи системаи маҳдуд тағйир намеёбад. Қори иҷрокардаи мошини

якум дар як давр:

$$\delta A_1 = \delta Q^+ \left( 1 - \frac{T}{T_1} \right) = \delta Q^+ \frac{T}{T_1} \left( \frac{T_1}{T} - 1 \right)$$

$$\delta A_1 = -\delta Q^+ \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right) = \delta Q \left( \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \text{ мешавад.}$$

Кори умумии иҷрошуда аз суммаи корҳои иҷрокардаи мошини якум дар якчанд сикл ва кори мошини дуюм дар як сикл баробар аст:

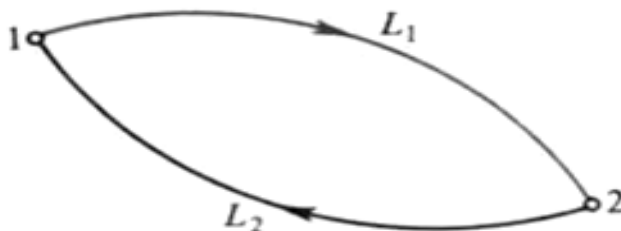
$$A = \int \delta A_1 + A_2 \quad A_2 = \int \delta Q \quad A = \int (\delta A_1 + \delta Q) = \int \left[ \delta Q \left( \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) + \delta Q \right].$$

Барои имконпазирии чунин система кори иҷро кардаи он бояд баробари сифр бошад, ё ки қувваҳои беруна бар система кор иҷро намуданашон лозим аст:

$$A = T \int \frac{\delta Q}{T} \leq 0.$$

Азбаски  $T > 0$  аст, бояд ки  $\int \frac{\delta Q}{T} \leq 0$  шавад. Барои сикли баргарданда танҳо аломати баробарӣ « $=$ » ва барои сикли бебозгашт ҳарду аломатҳо « $\leq$ »:  $\int \frac{\delta Q}{T} \leq 0$  рост меоянд. Барои сиклҳои баргарданда  $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$  аст. Яъне, бузургии таҳти интеграл бояд, ки дифференсиали пурра бошад ва ин бузургиро энтропия меноманд:  $\frac{\delta Q}{T} = dS$ . Шарҳи физикавии энтропия айнан ҳамонест, ки барои гази идеалӣ (2.9) ҳосил карда будем.

Протсеси баргардандаеро (расми 2.19) муҳокима менамоем, ки ҳангоми аз ҳолати аз 1 ба 2 гузаштан бо муҳити атроф додугирифтӣ гармӣ надорад, яъне система маҳдуд аст. Ҳангоми аз 2 ба 1 гузаштан система кушод аст.



Расми 2.19

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Азбаски ҳангоми аз ҳолати 1 ба 2 гузаштан система маҳдуд аст интеграли якум баробари сифр мешавад. Он гоҳ  $\int_2^1 \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad S_1 - S_2 \leq 0$  ва

$$S_2 \geq S_1 \quad (2.33)$$

буданаш маълум мегардад.

Ҳамаи протсесҳо дар системаи маҳдуд (гарминогузар) ба самти афзоиши эҳтимолияти система қорӣ мешаванд. Дар системаҳои маҳдуд энтропияи система ҳамеша меафзояд, яъне система ба ҳолати мувозинатӣ майл мекунад. Мавҷудияти энтропия ва дар системаҳои маҳдуд ҳангоми аз як ҳолат ба ҳолати дигар гузаштан бетағйир мондан, ё ки афзудани энтро-

пия мазмуни қонуни дуҷуми термодинамикаро ифода мекунад. Яъне, дар системаҳои маҳдуд танҳо ҳамон протсессҳои имконпазиранд, ки дар натиҷаи онҳо энтропия меафзояд, ё ки бетағйир мемонад. Қонуни якуми термодинамика қонуни бақои энергия дар протсессҳои ҳароратӣ буда самти протсессҳоро нишон намедихад, яъне дар системаҳои маҳдуд ҳамон протсесс имконпазир ҳаст ё не. Дар системаҳои номаҳдуд протсеси дилхоҳ имконпазир аст, яъне энтропия метавонад бетағйир монад, афзояд ё кам шавад. Системаҳои аз ҷиҳати термодинамикӣ маҳдуд бо муҳити атроф мубодилаи гармӣ надорад, яъне гарминогузар аст.

Маънои физикавии қонуни дуҷуми термодинамика аз таърифи М. Планк айёнтар мешавад: сохтани мошини даврӣ амалкунандае, ки он миқдори гармии аз гармидеҳ гирифтаашро пурра ба қор табдил дода тавонад, имконнопазир аст.

## 2.14 Ҳисоби тағйироти энтропия дар протсессҳои бебозгашт

Ҳисобкунӣ ба функсияи ҳолат будани энтропия асос ёфтааст. Агар система аз як ҳолат ба дигараш тавассути протсеси бебозгашт гузарад, тасаввурани системаро аз ҳолати ибтидоӣ ба ҳолати интиҳоӣ ба воситаи ягон протсеси баргарданда гузаронида, баъд тағйироти энтропияро барои ин гузариш ҳисоб кардан мумкин аст, ки он ба тағйироти энтропия дар протсеси бебозгашт баробар мешавад.

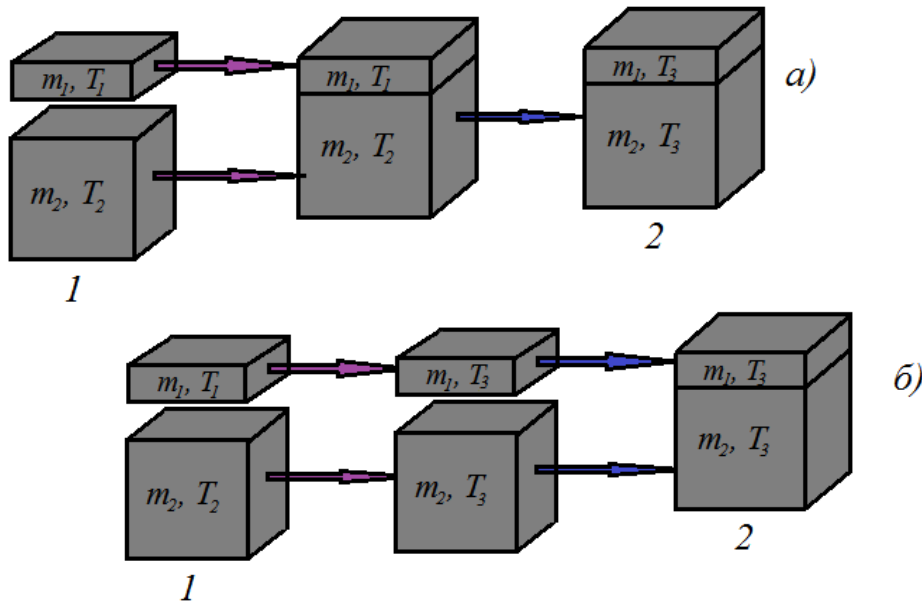
Мисолҳои зеринро барои ҳисоби тағйироти энтропия дар протсессҳои бебозгашт баррасӣ менамоем. Аввалан тағйирёбии энтропияро ҳангоми расонидани ду ҷисми температураҳояшон гуногун, ки дар натиҷаи тамос температураҳояшон баробар мешаванд, ҳисоб мекунем. Масса, гармиғунҷоиши ҳос ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ва температураи ҷисмҳои якум ва дуҷумро мувофиқан бо  $m_1$ ,  $C_{V1}$ ,  $T_1$  ва  $m_2$ ,  $C_{V2}$ ,  $T_2$  ишора менамоем. Чунин меҳисобем, ки гармиғунҷоишҳои  $C_{V1}$  ва  $C_{V2}$  ба температура вобаста нестанд ва  $T_1 > T_2$  мебошад. Агар система маҳдуд бошад, баъди бо ҳам расидан ба мувозинатии термодинамикӣ меояду температурашон  $T_3$  мешавад. Азбаски система маҳдуд аст, миқдори гармии дар натиҷаи аз  $T_1$  то  $T_2$  сард шудани ҷисми якум хориҷгардида ба миқдори гармии қабулкардаи ҷисми дуҷум барои аз температураи  $T_2$  то  $T_3$  гарм шудан баробар аст:

$$C_{V1}m_1(T_1 - T_3) = C_{V2}m_2(T_3 - T_2), \quad C_{V1}m_1T_1 - C_{V1}m_1T_3 = C_{V2}m_2T_3 - C_{V2}m_2T_2 .$$

Аз ин ҷо

$$T_3 = \frac{C_{V1}m_1T_1 + C_{V2}m_2T_2}{C_{V1}m_1 + C_{V2}m_2} . \quad (2.34)$$

Дар расми 2.20 а) протсеси бебозгашти мубодилаи гармӣ ҳангоми расиши ду ҷисми температураҳояшон гуногун ба таври схемавӣ тасвир шудааст.



Расми 2.20

Дар ҳолати ибтидоӣ ҷисмҳои  $m_1$  ва  $m_2$  аз ҳам ҷудоҷанд ва температу-  
раҳошон гуногун. Баъд ба ҳам расонида мешаванд. Дар натиҷаи мубо-  
дилаи гармӣ ҷисмҳо ба ҳолати 2 мегузаранд. Ҳамин системаро бо протсе-  
си баргарданда ҳам аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 гузаронидан мумкин аст (рас-  
ми 2.20 б). Барои ин ҳарду ҷисмро дар термостати температурааш  $T_3$  ҷой  
мекунем, то ки температурашон баробар шавад ва баъд ба ҳамдигара-  
шон мерасонем. Дар ин маврид ҳар яке аз онҳо бо протсеси баргарданда  
ба ҳолати 2 бо температураи  $T_3$  мегузарад. Баъди ин онҳо ба ҳам расони-  
да мешаванд, аммо ин ба ҳолати онҳо таъсир намерасонад. Дар ҳар ду  
гузариш ҳам (а,б) ҳолатҳои ибтидоӣ ва интиҳӣ якхелаанд ва тағйироти  
энтропияро бо воситаи протсеси баргарданда ҳисоб кардан мумкин аст:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_{T_1}^{T_3} \frac{C_{V1} m_1 dT}{T} + \int_{T_2}^{T_3} \frac{C_{V2} m_2 dT}{T},$$

ин ҷо  $\delta Q = mC_V dT$ . Интегралҳоро ҳисоб карда, баробарии зеринро ҳосил  
мекунем:

$$S_2 - S_1 = C_{V1} m_1 \ln \frac{T_3}{T_1} + C_{V2} m_2 \ln \frac{T_3}{T_2} > 0, \quad (2.35)$$

Ин аст тағйироти энтропия дар протсеси бебозгашт. Аз формулаи  
(2.34)  $T_3$ -ро гузошта боварӣ ҳосил мекунем, ки энтропия меафзояд  $\Delta S > 0$ .

Бо дигар усул ҳам ба ин хулоса омадан мумкин аст. Мубодилаи  
гармиро байни ҷисмҳо бо ёрии ягон мошине, ки гармиро аз ҷисми гарм ба  
ҷисми сард баргарданда интиқол медиҳад, амалӣ мекунем. Бигузур  $T_1 > T_2$   
бошад. Аз ҷисми гарм миқдори гармии  $|\delta Q|$ -и гирифташуда энтропияи  
онро ба қадри  $\Delta S_1 = -\frac{|\delta Q|}{T_1}$  кам мекунаду ин миқдори гармиро, ки ҷисми  
дигар қабул кардааст, энтропияи онро ба қадри  $\Delta S_2 = \frac{|\delta Q|}{T_2}$  меафзоёнад.  
Тағйироти пурраи энтропияи ду ҷисми дар расиши ҳароратӣ буда ҳангоми



миқдори гармии  $\delta Q$  аз қисми гарм ба қисми сард интиқол ёфтган  $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = |\delta Q| \cdot (1/T_2 - 1/T_1) > 0$  мешавад, чунки  $T_1 > T_2$ , яъне энтропия ҳангоми мубодилаи гармӣ дар ҳақиқат меафзояд.

Ба сифати мисоли дигар баробаршавии фишорҳоро дар газе, ки ду қисмҳояш то якҷояшавӣ дар фишорҳои гуногуну температураҳои якхела буданд, муҳокима мекунем. Система аз ҷиҳати ҳароратӣ маҳдуд мебошад ва зичии газҳо чунон аст, ки онҳоро идеалӣ ҳисобидан мумкин бошад. Ин маънои онро дорад, ки ҳангоми омехташавӣ энергияи дохилии онҳо тағйир намеёбад. Барои он ки протсеси бебозгаштро ба протсеси баргарданда иваз кунем, чунин мешуморем, ки ҳар як газ дар алоҳидагӣ то ҳаҷми  $V_1 + V_2$  васеъ мешавад.

Фишори барқароршударо аз рӯи формулаи зерин меёбем:

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

Азбаски протсес изотермӣ аст, энергияи дохилӣ тағйир намеёбад.

$dU = 0$   $\delta Q_T = \delta A_T$  ва  $TdS = PdV$ . Аз ин ҷо

$dS = \frac{PdV}{T}$ . Аз муодилаи ҳолат  $\frac{P}{T} = \frac{\nu R}{V}$  буданахро ба назар мегирем.

Он гоҳ:

$$S_2 - S_1 = \int_{V_1}^{V_1+V_2} \frac{PdV}{T} + \int_{V_2}^{V_1+V_2} \frac{PdV}{T},$$

$$S_2 - S_1 = \nu_1 R \int_{V_1}^{V_1+V_2} \frac{dV}{V} + \nu_2 R \int_{V_2}^{V_1+V_2} \frac{dV}{V}, \quad (2.36)$$

$$S_2 - S_1 = \nu_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + \nu_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}. \quad (2.37)$$

Ҳамин тариқ, ҳар гуна протсеси бебозгашт, ки ду мисоли онро овардем, бо афзоиши энтропия сурат мегирад. Агар аз ҳисоби хориҷ кардани гармӣ энтропияи қисм кам шавад, энтропияи қисмҳои атроф, ки гармӣ қабул кардаанд, ба қадре меафзояд, ки тағйироти пурраи энтропияи системаи ин қисмҳо ҳамеша мусбат аст:  $\Delta S > 0$ . Дар ҳолати умумӣ  $\Delta S \geq 0$  мешавад. Аломати мусовӣ ба протсесҳои баргарданда дахл дорад.

## 2.15 Саҳми энтропия дар иҷрои кор

Принсипи Келвин протсеси давриеро, ки натиҷаи он кори иҷрошуда ба миқдори гармии аз гармидех гирифташуда баробар аст, яъне мошини ҳароратие, ки бо як термостат кор кунад, ғайриимкон мешуморад. Аз формулаи ККФ-и сикли Карно бармеояд, ки миқдори гармии аз гармидех гирифташуда қисман ба иҷрои кор сарф мешавад ва ҳар қадар, ки температураи гармигир паст бошад, ин ҳисса меафзояд. Сабаби физикавии ин хулоса аз ибтидои дуҷуми термодинамика бармеояд. Чунки дар системаҳои маҳдуд дар протсесҳои дилхоҳ энтропия меафзояд. Ягон миқдори гармиро пурра ба кор мубаддал кардан мумкин нест, чунки ин ҳол

маънои гумшавии энтропияи ба он мувофиқ ҳисоб меёфт, ки ба қонуни дуҷуми термодинамика зид аст.

Аз ин ҳулосаҳо бармеояд, ки ҳангоми иҷрои кор энтропияи гармигир ақалан ҳамон қадар бояд афзояд, ки энтропияи гармидеҳ кам шудааст. Камшавии энтропияи гармидеҳ дар сикли Карно ба  $-\frac{Q^+}{T_1}$  баробар асту афзоиши энтропияи гармигир  $\frac{Q^-}{T_2}$ -ро ташкил медиҳад. Ҳамеша бояд шартҳои зерин иҷро шавад  $-\frac{Q^-}{T_2} \geq \frac{Q^+}{T_1}$  ё ки  $\frac{Q^+}{T_1} + \frac{Q^-}{T_2} \leq 0$ , ки бо формулаи (2.3) монанд аст. Ин талабот самаранокии мошинҳои ҳароратиро маҳдуд мекунад. ККФ-и максималӣ дар мошинҳои баргарданда дастрас мешавад, чунки дар ин маврид энтропияи гармигир ба бузургии камтарини имконпазир меафзояд.

Барои зиёд кардани ККФ-и имконпазири максималӣ ё температураи гармидеҳро баланд, ё ки температураи гармигирро паст кардан лозим аст. Пастшавии температураи гармигирро шароитҳои табиӣ, ки дар муҳити онро ихотақунанда мавҷуданд, маҳдуд мекунад. Мумкин аст, ки ҳаворо бо роҳи сунъӣ сард гардонем, аммо барои ин кор иҷро кардан лозим меояд, ки ККФ-ро кам мекунад. Аз ин сабаб температураи минималӣ гармигирро ягон  $T_0$  қабул менамоем.

Бигузур ягон мошини сикли мавҷуд бошад, ки дар температураи  $T$  ба намуди гармӣ энергияи  $\delta Q$ -ро ба он диҳем. Дар шароити аз ҷама мусоидтар қисме аз ин энергия барои иҷрои кор сарф мешавад:

$$\delta E_{\text{макс}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q. \quad (2.38)$$

Он қисми энергияро, ки дар намуди гармӣ ба мошин додасуда буд, ба иҷрои кор сарф мешавад, энергияи барои истифодабарӣ дастраси система меноманд.

Агар ба мошин дар температураҳои гуногун ҳиссаҳои гармии  $\delta Q$  диҳем, энергияи пурраи максималӣ ба кор табдилёфта:

$$E_{\text{макс}} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q \quad (2.39)$$

мебошад. Энергияи боқимонда, ки ба фарқи энергияи ба намуди гармӣ ба мошин додасуда ва энергияи ба кор табдилгардида баробар аст, барои ба кор табдилдиҳӣ ғайриимкон аст.

Фарз мекунем, ки ҳолати система аз ҳисоби энергияе, ки барои иҷрои кор сарф мешавад, тағйир меёбад ва система аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 мегузарад. Дар ин маврид энергияе, ки ба қадри максималӣ барои ба кор табдилёбӣ имконпазир аст, низ тағйир меёбад. Тағйироти энергияи муфиди максималӣ баробар мешавад ба:

$$\Delta E_{\text{макс}} = \int_{(1)}^{(2)} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q. \quad (2.40)$$

Чунин меҳисобем, ки ҳолатҳои 1 ва 2 бо ягон протсеси баргарданда пайвастанд. Дар ин маврид  $\frac{\delta Q}{T} = dS$  мешавад ва интегралро ҳисоб кардан мумкин аст:

$$\Delta E_{\text{макс}} = Q - T_0(S_2 - S_1). \quad (2.41)$$

Аз ин чо бармеояд, ки ҳар қадар энтропияи система зиёдтар тағйир ёбад, ҳиссаи дастраси энергияи ба система додашуда камтар мешавад. Бузургии  $T_0(S_2 - S_1)$  он ҳиссаи энергияест, ки ба кор табдил додан ғайри имкон аст. Ҳар қадар энтропияи система зиёдтар тағйир ёбад, ҳамон қадар бузургии кори иҷрокардаи система камтар аст ва аз ин рӯ ККФ ҳам кам мешавад.

Ин хулосаро ҳангоми таҳлили асбобҳои, ки барои табдили гармӣ ба кор истифода мешаванд, ба эътибор гирифта зарур аст.

## § 2.16 Потенциалҳои термодинамикӣ

Дар термодинамика бо дифференсиали пурраи функцияҳои ҳолати гуногун вомехӯрем, ки ба сифати тағйирёбандаҳои новобаста ҳафти дил-хоҳи параметрҳои термодинамикиро гирифта мумкин аст. Бигузур ягон функцияи  $F$  маълум асту он ё функцияи  $x, y$ , ё ки функцияи  $x, z$  бошад. Дифференсиали пурраи он барои ин ҳолатҳо чунин мешавад:

$$dF(x, y) = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right) dy, \quad dF(x, z) = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right) dz.$$

Тавре ки дида мешавад, ҳам дар ифодаи якум ва ҳам дар ифодаи дуюм  $\partial F / \partial x$  омадааст, аммо маънои онҳо гуногун аст: дар ифодаи якум дифференсиали хусусӣ ҳангоми доимӣ будани  $y$  гирифта шудаасту дар ифодаи дуюм ҳангоми доимӣ будани  $z$ . Аз ин сабаб дар термодинамика барои маънои муайян доштани ифодаҳо бузургии доимӣбударо ҳатман берун аз қавс қайд кардан лозим аст. Масалан:

$$dF(x, y) = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_x dy \quad dF(x, z) = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_z dx + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_x dz$$

Ҳангоми муоинаи функцияҳои ҳолат ҳатман берун аз қавс параметри доимиро қайд кардан лозим аст. Агар ин шартро риоя кунем, ҳангоми се бузургӣ ба ҳам вобаста будан  $x=x(y, z)$ ,  $y=y(x, z)$ ,  $z=z(x, y)$  ҳатман шарти зерин иҷро мешавад:

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)_z \left(\frac{dy}{dz}\right)_x \left(\frac{dz}{dx}\right)_y = -1. \quad (2.43)$$

Агар маълум бошад, ки  $d\Phi$  функцияи ҳолат аст ва онро дар намуди формулаи зерин пешниҳод кардан мумкин бошад:

$$d\Phi = P(x, y)dx + Q(x, y)dy, \quad (2.44)$$

ин чо  $P$  ва  $Q$ - функцияҳои маълум аз  $x$  ва  $y$ . Аз таъриф ва хосиятҳои дифференсиали пурра бармеояд, ки  $P(x, y) = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_y$ ,  $Q(x, y) = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)_x$ ,

$$\left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)_y \quad (2.45)$$

мебошанд. Ин чун шарти кифоя ва зарурии дифференсиали пурра будани функцияи дуаргумента доништа мешавад. Агар функцияи дифференсиали пурра бошад, он танҳо ба ҳолатҳои ибтидоӣ ва интиҳӣ вобаста аст:

$$\int_{x_1, y_1}^{x_2, y_2} dF(x, y) = F(x_2, y_2) - F(x_1, y_1)$$

Функцияи ҳолатро функцияи термодинамикӣ меноманд. Барои протсессҳои баргарданда  $TdS = \delta Q$ . Қонуни якуми термодинамика барои протсессҳои баргарданда чунин намуд мегирад:

$$TdS \equiv dU + PdV. \quad (2.46)$$

Ин баробариҳо чун айнӣи термодинамикӣ ҳисоб мекунад, зеро дар ҳамаи протсессҳои баргарданда аз тариқи айнӣи иҷро мешаванд.

Барои тавсифи ҳолати система чор параметр  $P, V, T, S$  лозим мешавад, ки бо ду муодила: муодилаи ҳолат ва айнӣи термодинамикӣ ба ҳамдигар вобастаанд. Аз ин сабаб танҳо дутои онҳо новобаста буданашон мумкин аст. Функцияҳои, ки функцияи ҳолатанд, онҳо ҳам потенциали термодинамикӣ мебошанд. Аз ин сабаб потенциали термодинамикӣ ниҳоят зиёданд. Ду потенциалро мо муҳокима карда будем. Дар протсеси изохорӣ энергияи дохилӣ ( $U$ ) функцияи ҳолат асту дар протсеси изобарӣ энталпия ( $H = U + PV$ ).

Аз айнӣи термодинамикӣ барои протсессҳои изотермӣ  $\delta A = TdS - dU$ , ё худ  $\delta A = d(TS) - dU = -d(U - TS)$ , ки бузургии  $U - TS = F$  -ро энергияи озод меноманд.  $\delta A_i = -dF$ , яъне тағйироти энергияи озод ба бузургии бо аломати акс гирифташудаи кори элементарии иҷрокардаи система дар протсеси изотермӣ баробар аст.

Бузургии  $G = H - TS$  -ро потенциали термодинамикии изобарию изотермӣ, ё ки потенциали Гиббс меноманд.

Аз айнӣи термодинамикӣ  $dU = TdS - PdV$  мешавад. Аз ин ҷо бармеояд, ки ҳангоми ба сифати тағйирёбандаҳои новобастаи  $S$  ва  $P$  энталпия потенциал термодинамикӣ ҳисоб мешавад:

$$T = \left( \frac{\partial U}{\partial S} \right)_V \quad \text{ва} \quad -P = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_S \quad \left( \frac{\partial T}{\partial V} \right)_S = - \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V. \quad (2.47)$$

Аз формулаи энталпия  $dH = dU + PdV + VdP = TdS - PdV + PdV + VdP$   $dH = TdS + VdP$  ва барои тағйирёбандаҳои новобастаи  $S$  ва  $P$  энталпия потенциал термодинамикӣ мебошад.

$$T = \left( \frac{\partial H}{\partial S} \right)_P \quad \text{ва} \quad V = \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_S \quad \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_S = \left( \frac{\partial V}{\partial S} \right)_P. \quad (2.48)$$

Аз формулаи энергияи озод  $dF = dU - TdS - SdT$ ;  $dF = TdS - TdV - TdS - SdT$ ,  $dF = -PdV - SdT$ . Пас, барои тағйирёбандаҳои  $V$  ва  $T$  энергияи озод потенциали термодинамикӣ ҳисобида мешавад:  $-P = \left( \frac{\partial F}{\partial V} \right)_T$   $-S = \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_V$

$$\left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T. \quad (2.49)$$

Аз энергияи Гиббс  $dG = dU - TdS - SdT$   $dG = TdS + VdP - TdS - SdT$   $dG = VdP - SdT$  буданашон бармеояд. Аз ин ҷо барои тағйирёбандаҳои  $P$  ва  $T$  энергияи Гиббс потенциал термодинамикӣ аст.  $\left( \frac{\partial G}{\partial P} \right)_T = V$ ;  $\left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)_P = -S$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T. \quad (2.50)$$

Муодилаҳои (2.47-2.50)-ро, ки вобастагии параметрҳои ҳолатро дар протсессҳои гуногун нишон медиҳанд, таносубҳои Максвелл меноманд.

Намудҳои дигари дифференциалҳои энергияи дохилӣ, энталпия ва энтропияро таҳлил менамоем. Бигузур энергияи дохилии модда функсияи температура ва ҳаҷм бошад, яъне  $U = U(T, V)$ . Он гоҳ:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV = C_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV \quad (2.51)$$

Аз формулаҳои (2.46) ва (2.51) ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{P}{T} dV = C_V \frac{dT}{T} + \left[\frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + \frac{P}{T}\right] dV \quad (2.52)$$

Аз тарафи дигар, агар энтропияро ҳамчун функсияи (T,V), яъне S(T,V) ҳисобем,

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV \quad (2.53)$$

мешавад. Формулаҳои (2.50) ва (2.51)-ро муқоиса карда, меёбем:

$$\frac{C_V}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{1}{T} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right] \quad (2.54)$$

Аз таносубҳои Максвелл  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$  формулаи

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \quad \text{-ро} \quad (2.55)$$

ҳосил менамоем, ки он имконият медиҳад, ифодаи (2.51)-ро дар дигар намуд пешниҳод намоем:

$$dU = C_V dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P\right] dV \quad (2.56)$$

Айнан ҳамин тарз формулаи дифференциалҳои энтропия ва энталпияро ҳосил менамоем:

$$dS = C_V \frac{dT}{T} + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV, \quad (2.57)$$

$$dH = C_P dT + \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP. \quad (2.58)$$

Агар ба сифати тағйирёбандаҳои новобаста T ва P-ро гирем, дифференсиали энтропия чунин намудро мегирад:

$$dS = C_P \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP. \quad (2.59)$$

Ифодаҳои (2.57) ва (2.59)-ро баробар карда, ҳосил мекунем:

$$C_V \frac{dT}{T} + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV = C_P \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP. \quad (2.60)$$

Аз ин ҷо

$$C_P - C_V = T \left[ \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \frac{dV}{dT} + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \frac{dP}{dT} \right]. \quad (2.61)$$

буданаш маълум мегардад. Аз ин ҷо бармеояд, ки фарқи ишҳо  $C_P - C_V$  ҳангоми  $P = \text{const}$  тағйирёбии ҳаҷм ва ҳангоми  $V = \text{const}$  тағйирёбии фишор баробаранд. Аз (2.61) ҳосил мекунем:

$$(C_P - C_V)_V = T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V, \quad (C_P - C_V)_P = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P. \quad (2.62)$$

Аз таносуби (2.43) барои тағйирёбандаҳои  $T, V, P$  ҳосил мекунем:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T . \quad (2.63)$$

Формулаи (2.61) бо назардошти формулаҳои (2.62) ва (2.63) чунин навишта мешавад:

$$C_P - C_V = -T \frac{(\partial V / \partial T)_P^2}{(\partial V / \partial P)_T} . \quad (2.64)$$

Формулаи (2.64) якҷоя бо формулаҳои барои  $dU$ ,  $dH$  ва  $dS$  ҳосилкардаамон имкон медиҳад, ки  $U$ ,  $H$  ва  $S$  муайян карда шаванд, агар  $P, V, T$  ва яке аз гармиғунҷоишҳо  $C_P$  ё  $C_V$  маълум бошад. Аз тарафи дигар, энергияи озод  $F$  ва функсияи Гиббс  $G$  бо  $U$ ,  $H$  ва  $S$  ифода меёбанду онҳоро ҳам муайян кардан имконпазир мешавад. Танҳо барои моддаҳои тоза ин амалро иҷро кардан имкон дорад.

Агар моддаи тоза дар ягон фаза (моёъ ё буғ) воқеъ бошад, таҷрибавӣ муодилаи ҳолати онро муайян кардан мумкин аст, ё ки назариявӣ тақрибан ифода намудан лозим меояд. Илова ба ин, яке аз гармиғунҷоишҳоро таҷрибавӣ чен мекунам. Ин натиҷаҳо якҷоя бо муодилаи (2.64) имкон медиҳад, ки ҳамаи тавсифоти термодинамикии модда микдоран шарҳ дода шаванд.

## § 2.17 Шарти асосии устувории термодинамикӣ

Ҳолати мувозинатии системаҳои адиабатии маҳдуд ҳангоми максималӣ будани энтропия ба амал меояд. Ҳолатҳои наздике, ки ҳангоми ба система интиқол ё хориҷи гармӣ ба даст меоянд, дорои энтропияи камтаранд. Аз ин сабаб, мувофиқи қонуни дуҷуми термодинамика, онҳо имконпазир нестанд. Ин маънои онро дорад, ки ҳолати системаҳои адиабатии маҳдуд ҳангоми энтропияи система максималӣ будан устувор мебошад.

Назарияи умумии устувории термодинамикиро солҳои 1875-1878 физики америкоӣ Д. Гиббс тадқиқ ва ду шарти асосӣ ва кифояи устувории системаҳои маҳдудро пешниҳод кардааст: 1) дар ҳама тағйирёбиҳои имконпазири ҳолати система, ки ба энергияи он таъсир намерасонад, вариатсияи (тағйироти) энтропияи он барҳам меҳӯрад, ё ки манфӣ аст;

2) дар ҳама тағйирёбиҳои имконпазири ҳолати система, ки ба энтропияи он таъсир намерасонад, вариатсияи энергияи он барҳам меҳӯрад, ё ки мусбат аст.

Ба ин шартҳои умумӣ тақия карда Гиббс ҳолатҳои хусусии назарияи потенциалҳои термодинамикиро инкишоф дод.

Критерия (меъёр)-и устуворӣ барои системаҳои ҳаҷм ва энтропияаш доимӣ. Нобаробарии Клаузиус барои протсеси бебозгашт, ки дар система ниҳоят суст мегузарад, чунин намуд мегирад:

$$\delta Q < T dS \quad (2.65)$$

Қонуни якуми термодинамикаро ба назар гирифта шарти (2.65)-ро ин тавр ифода кардан мумкин аст:

$$dU + PdV - TdS \quad (2.66)$$

Ҳангоми доимӣ будани энтропия ( $S=\text{const}$ ) ва ҳаҷм ( $V=\text{const}$ ) аз ин формула нобаробарии зерин бармеояд:

$$dU < 0 \quad (2.67)$$

Яъне, дар система танҳо ҳамон протсесҳое гуза шта метавонанд, ки энергияи дохилиашон кам шавад. Пас, ҳолате, ки дорои минимуми энергияи дохилӣ аст, устувор мебошад.

Критерияи устуворӣ барои системаҳои фишор ва энтропияш доимӣ. Дар ин маврид шарт (2.66) намуди зеринро мегирад:

$$dH < 0 \quad (2.68)$$

Яъне, дар система танҳо протсесҳои бо камшавии энталпия мегузашта имконпазиранд. Пас, ҳолати энталпияш минималӣ устувор мебошад.

Критерияи устуворӣ барои системаҳои ҳаҷм ва температурашон доимӣ. Ҳангоми  $V=\text{const}$  ва  $T=\text{const}$  шарт (2.66) –ро чунин навиштан мумкин аст:

$$dF < 0. \quad (2.69)$$

Яъне, дар система танҳо протсесҳои бо камшавии энергияи озод гузаранда имконпазиранд. Пас, ҳолате, ки энергияи озодаш минималӣ аст, устувор мебошад.

Критерияи устуворӣ барои системаҳои фишор ва температурааш доимӣ. Дар ин маврид нобаробарии (2.66) –ро ба чунин намуд овардан мумкин аст:

$$d(U+PV) - d(TS) < 0. \quad (2.70)$$

Ҳангоми доимӣ будани температура ва фишор дифференциалҳои  $dT=0$ ,  $dP=0$  мешаванду ифодаи (2.70) ба нобаробарии зерин табдил меёбад:

$$dG < 0. \quad (2.71)$$

Яъне, дар система танҳо протсесҳои бо камшавии потенциали термодинамикии Гибс гузаранда имконпазиранд. Пас, ҳолати потенциали термодинамикии изобарию изотермиаш минималӣ устувор мебошад.

Принсипи Ле Шателье-Браун. Ҳангоми системаро аз ҳолати мувозинатӣ баровардан дар он омилҳое пайдо мешаванд, ки барои системаро ба ҳолати мувозинатӣ баргардондан кӯшиш мекунанд ва ин устувории ҳолатро таъмин мекунад. Зарурияти пайдошавии ин гуна омилҳо аз мавҷудияти ҳолатҳои устувор бармеояд ва он дар термодинамика бо принсипи Ле Шателье-Браун ифода меёбад: агар ба системае, ки дар мувозинатии термодинамикии устувор ҷойгир аст, омилҳои беруна таъсир карда онро аз ин ҳолат бароварданӣ шаванд, дар система протсесҳое ба амал меоянд, ки кӯшиш мекунанд, то тағйироти таъсироти беруна ба вучуд овардари барҳам зананд.

Потенциали химиявӣ, параметри ҳолати термодинамикии системаҳост, ки ҳангоми азнавтақсимшавии массаи компонентҳо нақши қувваро мебозад. Агар фазаи ду компонент аз ҳамдигар фарқ кунад, яъне яке хурд ва дигаре калон бошад, он гоҳ то ба мувозинат омадан фазаҳо аз калон ба хурд мегузаранд. Потенциали химиявии компоненти системаро одатан чун ҳосилаи чузъии энергияи Гибс аз рӯи массаи он (ҳангоми доимӣ будани температура, фишор ва массаи компоненти дигар) ҳисоб мекунанд.

### Намунаи ҳалли масъалаҳо

2.1. Гидрогени массааш  $m=4$  г-ро дар фишори доимӣ ба қадри  $\Delta T = 10$  К гарм карданд. Кори васеъшавии газро муайян намоед.

Маълумот:  $m=0,004$  кг  
 $\Delta T = 10$  К  
 $A=?$

Ҳал:  
 $A = \frac{m}{M} R \Delta T$   
 $A=166$  Ҷ.

Ҷавоб: 166 Ҷ.

2.2. Газе, ки зери фишори  $P = 100$  кПа дар ҳаҷми  $V_1 = 10$  л ҷойгир буд, изобарӣ аз температураи  $T_1=300$  К то  $T_2=400$  К гарм карданд. Кори васеъшавии газро муайян ёбед.

Маълумот:  $P = 10^5$  Па  
 $V_1 = 10$  л  
 $T_1=300$  К  
 $T_2=400$  К  
 $A=?$

Ҳал:  
 $A = P(V_2 - V_1)$ , азбаски  $P=\text{const}$ ,  $V_1/T_1 = V_2/T_2$ ,  $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$  мебошад, кори матлуб бо формулаи;  
 $A = P \left( \frac{V_1 T_2}{T_1} - V_1 \right)$ ,  $A = P V_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$  ҳисоб карда мешавад.  
 $A=400$  Ҷ.

Ҷавоб: 400 Ҷ.

2.3. Дар температураи  $T= 290$  К ҳангоми изотермӣ васеъ кардани гидрогени массааш  $m=5$  г чӣ қадар кор иҷро мешавад, агар ҳаҷми газ се маротиба афзуда бошад?

Маълумот:  $T= 290$  К  
 $m=0,005$  кг  
 $A=?$

Ҳал:  
 $A = \frac{m}{M} R T \ln \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\frac{V_2}{V_1} = 3$ ,  $A = \frac{m}{M} R T \ln 3$   
 $A = 6,62$  кҶ.

Ҷавоб: 6,62 кҶ.

2.4. Гидроген таҳти фишори  $P_1 = 100$  кПа дар ҳаҷми  $V_1 = 10$  м<sup>3</sup> ҷойгир аст. Газро ҳангоми доимӣ мондани ҳаҷм то фишори  $P_2 = 300$  кПа  $P_2 = 300$  кПа гарм карданд. Муайян созед, ки: 1) тағйироти энергияи дохилии газ; 2) кори иҷрокардаи газ; 3) миқдори гармии ба газ интиқолёфта чӣ қадаранд?

Маълумот:  $P_1 = 100$  кПа  
 $V_1 = 10$  м<sup>3</sup>  
 $P_2 = 300$  кПа  
 1)  $\Delta U = ?$   
 2)  $A = ?$   
 3)  $Q = ?$

Ҳал:  
 $Q = \Delta U$ ,  $A = 0$ ,  $\Delta U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R \Delta T$ ,  $i = 5$ ,  $pV = \frac{m}{M} RT$   
 $T = \frac{pVM}{mR}$ ,  $\Delta T = \frac{VM}{mR} (p_2 - p_1)$ ,  $i = 5$   
 $Q = \Delta U = \frac{i}{2} V (p_2 - p_1) = \frac{5}{2} V (p_2 - p_1)$



$$Q = \Delta U = 5 \cdot 10^6 \text{ Ҷ.} \quad \text{Ҷавоб: } 5 \text{ МҶ, } A = 0.$$

2.5. Ҳангоми изохорӣ гарм кардани оксигени ҳаҷмаш  $V = 50$  л фишораш ба қадри  $\Delta P = 0,5$  МПа афзуд. Миқдори гармии ба газ додасударо муайян намоед.

Маълумот: Ҳал:

$$V = 50 \text{ л} \quad V = \text{const}, Q = \Delta U, Q = \frac{i}{2} V (p_2 - p_1) = \frac{5}{2} V \Delta p$$

$$\Delta P = 0,5 \text{ МПа}$$

$$Q = ?$$

$$Q = 62,5 \text{ Ҷ.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 62,5 \text{ Ҷ.}$$

2.6. Дар балони ғунҷоишаш  $V = 20$  л гидроген дар температураи  $T = 300$  К таҳти фишори  $P = 0,4$  МПа ҷойгир аст. Агар ба газ миқдори гармии  $Q = 6$  кҶ диҳем, температура ва фишори он чӣ қадар мешавад?

Маълумот: Ҳал:

$$Q = 6 \text{ кҶ} \quad V = \text{const}, Q = \frac{5m}{2M} R \Delta T, i = 5, \Delta T = \frac{2QM}{5mR}, m = \frac{pVM}{RT};$$

$$V = 20 \text{ л}$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$P = 0,4 \text{ МПа}$$

$$T_1 = ?$$

$$P_1 = ?$$

$$\Delta T = \frac{2QM}{5mR}, \Delta T = T_1 - T, T_1 = T + \Delta T, T_1 = T + \frac{2QM}{5mR} = T \left( 1 + \frac{2Q}{5pV} \right);$$

$$T_1 = 390 \text{ К}, \frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}, p_1 = \frac{pT_1}{T} = 520 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\text{Ҷавоб: } 390 \text{ К, } 520 \text{ кПа.}$$

2.7. Оксиген дар фишори доимии  $P = 80$  кПа гарм карда мешавад. Ҳаҷмаш аз  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup> то  $V_2 = 3$  м<sup>3</sup> меафзояд. 1) Тағйироти энергияи дохилии оксиген; 2) қори иҷрокардаи газ ҳангоми васеъшавӣ; 3) миқдори гармии ба газ додасударо ёбед.

Маълумот:

$$P = 80 \text{ кПа}$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3 \text{ м}^3$$

$$1) \Delta U = ?$$

$$2) A = ?$$

$$3) Q = ?$$

Ҳал:

$$p = \text{const}, Q = \Delta U + A, A = p(V_2 - V_1);$$

$$\Delta U = \frac{m}{M} \frac{iR}{2} (T_2 - T_1), T = \frac{MpV}{Rm}, i = 5, \Delta U = \frac{5}{2} p(V_2 - V_1);$$

$$Q = \Delta U + A.$$

$$A = 160 \text{ кҶ}; \Delta U = 400 \text{ кҶ}; Q = 560 \text{ кҶ.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 160 \text{ кҶ, } 400 \text{ кҶ, } 560 \text{ кҶ.}$$

2.8. Дар фишори доимӣ ба нитроген миқдори гармии  $Q = 21$  кҶ дода онро гарм карданд. Қори иҷрокарда ва тағйироти энергияи дохилии газро муайян кунед.

Маълумот:

$$Q = 21 \text{ кҶ}$$

$$A = ?$$

$$\Delta U = ?$$

Ҳал:

$$p = \text{const}, Q = \Delta U + A, A = p\Delta V, i = 5$$

$$Q = p\Delta V + \frac{5}{2} p\Delta V = \frac{7}{2} p\Delta V, Q = \frac{7}{2} A, A = \frac{2Q}{7}$$

$$\Delta U = Q - A$$

$$A = 6 \text{ кҶ}; \Delta U = 15 \text{ кҶ.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 6 \text{ кҶ, } 15 \text{ кҶ.}$$

2.9. Оксигени массааш  $m=2$  кг таҳти фишори  $P_1=0,2$  МПа ҳаҷми  $V_1=1$  м<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад. Газро аввал изобарӣ то ҳаҷми  $V_2=3$  м<sup>3</sup> гарм карданду баъд изохорӣ то фишори  $P_3=0,5$  МПа. Муайян кунед: 1) тағйироти энергияи дохилии газ; 2) кори иҷро кардаи он; 3) миқдори гармии ба газ додасударо ёбед.

Маълумот:

$$m=2 \text{ кг}$$

$$P_1=0,2 \text{ МПа}$$

$$V_1=1 \text{ м}^3$$

$$V_2=3 \text{ м}^3$$

$$P_3=0,5 \text{ МПа}$$

$$1) \Delta U = ?$$

$$2) A = ?$$

$$3) Q = ?$$

Ҳал:

$$\Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{5R}{2} (T_3 - T_1) = \frac{5}{2} (p_3 V_2 - p_1 V_1);$$

$$A = A_{12} + A_{23}, A_{23} = 0, V = \text{const},$$

$$A = A_{12} = p_1 (V_2 - V_1);$$

$$Q = \Delta U + A.$$

$$\Delta U = 3,25 \text{ МҶ}; A = 0,4 \text{ МҶ}; Q = 3,65 \text{ МҶ}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 3,25 \text{ МҶ}, 0,4 \text{ МҶ}, 3,65 \text{ МҶ}.$$

2.10. Гелии массааш  $m=1$  г-ро дар фишори доимӣ ба қадри  $\Delta T = 100$  К гарм карданд. 1) Миқдори гармии ба газ додасуда, 2) кори васеъшавӣ; 3) тағйироти энергияи дохилии газро муайян намоед.

Маълумот:

$$m=1 \text{ г}$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

$$1) \Delta U = ?$$

$$2) A = ?$$

$$3) Q = ?$$

Ҳал:

$$p = \text{const}, Q = \Delta U + A, \Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} R \Delta T, i = 3;$$

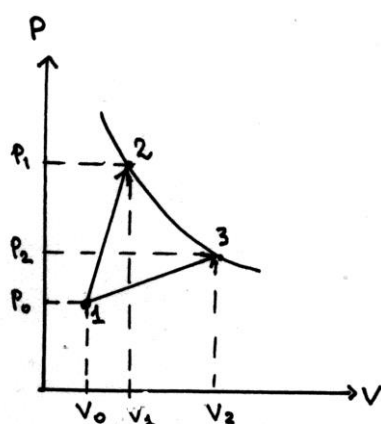
$$\Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{3}{2} R \Delta T, A = \frac{m}{M} R \Delta T;$$

$$Q = \Delta U + A.$$

$$\Delta U = 312 \text{ Ҷ}; A = 208 \text{ Ҷ}; Q = 520 \text{ Ҷ}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 312 \text{ Ҷ}, 208 \text{ Ҷ}, 520 \text{ Ҷ}.$$

2.11. Дар газ ду протсеси ҳароратӣ сурат мегирад. Онро аз ҳолати ибтидоии ягона гарм карда, ба ҳолати интиҳои температураи баробардошта мегузаронанд. Дар диаграммаи  $PV$  протсесҳо бо хатҳои ростии 1-3 ва 1-2 тасвир ёфтаанд. Муайян намоед, ки дар кадоме аз ин протсесҳо миқдори гармии зиёдтар дода шудааст.



Ҳал: Мувофиқи қонуни якуми термодинамика, ҳангоми гузаштани газ аз ҳолати 1 ( $P_0 V_0$ ) ба ҳолати 2 ( $P_1 V_1$ ) миқдори гармии қабулкардаи газ  $\Delta Q_1 = \Delta U_1 + A_1$  аст, ки ин ҷо  $\Delta U_1$  - тағйироти энергияи дохилии он,  $A_1$  - кори иҷрокардаи газ мебошад. Аз график меёбем, ки  $A_1 = \frac{(P_0 + P_1)(V_1 - V_0)}{2}$ .

Ҳангоми гузариши газ аз ҳолати (1) ба ҳолати (3) ( $P_2V_2$ ) нуктаҳои 2 ва 3 дар як изотерма меҳобанд. Аз ин рӯ  $\Delta Q_2 = \Delta U_2 + A_2$ ,  

$$A_2 = \frac{(P_0 + P_2)(V_2 - V_0)}{2}.$$

Азбаски температураҳои ҳолатҳои ибтидоӣ ва интиҳӣ баробаранд,  $\Delta U_1 = \Delta U_2$  мебошад. Аз ин сабаб, барои ҳал муқоисаи корҳои иҷрошуда  $A_1$  ва  $A_2$  кифоя аст:

$$A_1 - A_2 = \frac{[(P_0V_1 - P_0V_2) + (P_2V_0 - P_1V_0)]}{2} < 0.$$

Азбаски  $P_0V_1 < P_0V_2$ ,  $P_2V_0 < P_1V_0$ ,  $A_2 > A_1$  мебошад ва  $\Delta Q_2 > \Delta Q_1$ , яъне дар протсеси 1-3 ба газ миқдори гармии зиёдтар дода шудааст.

2.12. Кадом ҳиссаи ( $\omega_1$ ) миқдори гармии  $Q_1$  дар протсеси изобарӣ ба газ интиқолдода ба тағйирдиҳии энергияи дохилии он сарф мешаваду кадом ҳиссааш ( $\omega_2$ ) ба кори васеъшавии газ? Се навъи газро ба эътибор гиред: 1) якатома; 2) дуатома; 3) сеатома.

Маълумот:      Ҳал:

1)  $i=3$        $Q = \Delta U + A, Q = \frac{m}{M} C_p \Delta T, C_p = \frac{i+2}{2} R, Q = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \Delta T;$

2)  $i=5$

3)  $i=6$

$\omega_1 = ?$

$\omega_2 = ?$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T, \omega = \frac{\Delta U}{Q} = \frac{i}{i+2}.$$

1) гази якатома  $i=3, \omega_1 = 3/5 = 0,6, \omega_2 = \omega - \omega_1 = 1 - 0,6 = 0,4$

2) гази дуатома  $i=5, \omega_1 = 5/7 = 0,71, \omega_2 = \omega - \omega_1 = 1 - 0,71 = 0,29$

3) гази сеатома  $i=6, \omega_1 = 6/8 = 0,75, \omega_2 = \omega - \omega_1 = 1 - 0,75 = 0,25$

Ҷавоб: 1) 0,6; 0,4. 2) 0,71; 0,29. 3) 0,75; 0,25.

2.13. Нитрогени массааш  $m=5$  кг ба  $\Delta T = 150$  К изохорӣ гарм карда шуд. 1) Миқдори гармии ба газ додашуда; 2) тағйироти энергияи дохилӣ; 3) кори иҷрокардаи газро муайян намоед.

Маълумот:      Ҳал: Азбаски  $V = \text{const}$ ,

$m=5$  кг

$\Delta T = 150$  К

$$Q = \Delta U = C_v \frac{m}{M} \Delta T = \frac{5}{2} R \frac{m}{M} \Delta T = 556 \cdot 10^3 \text{ Ҷ.}$$

1)  $\Delta U = ?$

$A = 0$

2)  $A = ?$

Ҷавоб: 556 кҶ, 0.

3)  $Q = ?$

2.14. Буғи об дар фишори доимӣ васеъ мешавад. Агар буғ миқдори гармии  $Q = 4$  кҶ гирад, кори васеъшавиро муайян намоед.

Маълумот:

$Q = 4$  кҶ

$A = ?$

Ҳал:  $Q = \Delta U + A, \Delta U = \frac{i}{2} p \Delta V, A = p \Delta V, Q = \frac{i}{2} p \Delta V + p \Delta V = p \Delta V \left( 1 + \frac{i}{2} \right)$

Барои гази бисёратома  $i=6$  буданаширо ба эътибор мегирем.

$$\text{Он гоҳ } Q = \left(1 + \frac{6}{2}\right) p \Delta V = 4p \Delta V = 4A$$

ва  $A = Q/4 = 1 \text{ кЧ}$  мешавад.

Ҷавоб: 1 кЧ.

2.15. Дар температураи  $T=280 \text{ К}$  изотермӣ ҳаҷми нитрогени массааш  $m=200 \text{ г}$  ду маротиба меафзояд. Муайян кунед: 1) тағйирёбии энергияи дохилии газ; 2) кори хангоми васеъшавӣ иҷрошуда; 3) миқдори гармии қабулкардаи газро.

Маълумот:

$$T=280 \text{ К}$$

$$m=200 \text{ г}=0,2 \text{ кг}$$

$$1) \Delta U = ?$$

$$2) A = ?$$

$$3) Q = ?$$

Ҳал:

$$T = \text{const}; \quad \Delta U = 0; \quad Q = A;$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln 2 = 11,6 \text{ кЖ}$$

Ҷавоб: 0; 11,6 кЧ.

2.16. Дар цилиндр таҳти поршен нитрогени массааш  $m=0,6 \text{ кг}$  дар температураи  $T=560 \text{ К}$  ҳаҷми  $V_1=1,2 \text{ м}^3$ -ро ишғол мекунад. Дар натиҷаи қабули гармӣ газ то ҳаҷми  $V_2=4,2 \text{ м}^3$  изотермӣ васеъ шуд. 1) Тағйироти энергияи дохилии газ; 2) кори иҷрокардаи газ; 3) миқдори гармии қабул кардаи газ ёфта шавад.

Маълумот:

$$m=0,6 \text{ кг}$$

$$T=560 \text{ К}$$

$$V_1=1,2 \text{ м}^3$$

$$V_2=4,2 \text{ м}^3$$

$$1) \Delta U = ? \quad 2) A = ? \quad 3) Q = ?$$

Ҳал:

$$T = \text{const}; \quad Q = A, \quad \Delta U = 0$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = 126 \text{ кЧ.}$$

Ҷавоб: 0; 126 кЧ; 126 кЧ.

2.17. Ба гидрогени массааш  $m=10 \text{ г}$  миқдори гармии  $Q=40 \text{ кЧ}$  дода, онро ба  $\Delta T = 200 \text{ К}$  гарм карданд. Тағйироти энергияи дохилии газ ва кори иҷрокардаи он дар ин протсесс чӣ қадаранд?

Маълумот:

$$i=5$$

$$Q=40 \text{ кЧ}$$

$$m=10 \text{ г}$$

$$\Delta T=200 \text{ К}$$

$$1) \Delta U = ?$$

$$2) A = ?$$

Ҳал:

$$Q = \Delta U + A, \quad \Delta U = \frac{m}{M} C_v \Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T;$$

$$A = Q - \Delta U.$$

$$\Delta U = 20,775 \text{ кЧ};$$

$$A = 19,225 \text{ кЧ.}$$

Ҷавоб: 20,775 кЧ; 19,225 кЧ.

2.18. Хангоми дар температураи  $T=280 \text{ К}$  изотермӣ васеъшавии гидрогени массааш  $m=1 \text{ г}$  ҳаҷми газ се маротиба афзуд. Кори васеъшавии газ ва миқдори гармии гирифтаи газро муқаррар созед.

Маълумот:  $T=280 \text{ К}$   
 $m=1 \text{ г}$   
 $\frac{V_2}{V_1} = 3$   
 $Q=?$   $A=?$

Ҳал:  
 $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$   
 $Q=A=1,28 \text{ кҶ.}$   
 Ҷавоб: 1,28 кҶ.

2.19. Нитроген, ки таҳти фишори  $P_1=0,2 \text{ МПа}$  ҳаҷми  $10 \text{ л}$ -ро ишғол мекард изотермӣ то ҳаҷми  $V_2=28 \text{ л}$  васеъ гардид. Қори васеъшавии газ ва миқдори гармии қабулкардаи онро муайян намоед.

Маълумот:  $P_1=0,2 \text{ МПа}$   
 $V_1=10 \text{ л}$   
 $V_2=28 \text{ л}$   
 $Q=?$   
 $A=?$

Ҳал:  
 $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$   
 $p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT, Q = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1};$   
 $Q=A= 2,06 \text{ кҶ.}$  Ҷавоб: 2,06 кҶ.

2.20. Барои изотермӣ васеъшавии  $\nu = 1 \text{ мол}$  оксигени температурааш  $T=300 \text{ К}$  миқдори гармии  $Q=2 \text{ кҶ}$  сарф карданд. Ҳаҷми газ дар ин маврид чанд маротиба афзудааст?

Маълумот:  $Q=2 \text{ кҶ}$   
 $\nu = 1 \text{ мол}$   
 $T=300 \text{ К}$   
 $\frac{V_2}{V_1} = ?$

Ҳал:  
 $Q = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1},$   
 $\ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{Q}{\nu RT}, \frac{V_2}{V_1} = e^{Q/\nu RT}, \frac{V_2}{V_1} = e^{0,8} = 2,23$   
 Ҷавоб: 2,23.

2.21. Агар нитрогени массааш  $m=1 \text{ г}$  таҳти фишори  $P_1=0,1 \text{ МПа}$  ва температурааш  $T=280 \text{ К}$  бударо изотермӣ то фишори  $P_2=1 \text{ МПа}$  фишорем чӣ қадар миқдори гармӣ хориҷ мешавад?

Маълумот:  $m=0,001 \text{ кг}$   
 $P_1=0,1 \text{ МПа}$   
 $T=280 \text{ К}$   
 $P_2=1 \text{ МПа}$   
 $Q=?$

Ҳал:  
 $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1},$  азбаски  $T = const, p_1 V_1 = p_2 V_2, \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1};$   
 $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$   
 $Q=191 \text{ Ҷ.}$   
 Ҷавоб: 191 Ҷ.

2.22. Гази гидроген ҳангоми васеъшавӣ қори  $A=6 \text{ кҶ}$ -ро иҷро кард. Миқдори гармии қабулкардаи газро дар мавридҳои протсес 1) изобарӣ; 2) изотермӣ гузаштан муайян кунед.

Маълумот: Ҳал:

$$A=6 \text{ кҶ}$$

$$Q=?$$

$$1) p = \text{const}, Q = \Delta U + A; \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T, A = \frac{m}{M} R \Delta T;$$

$$Q=21 \text{ кҶ.}$$

$$Q = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \frac{m}{M} R \Delta T = \left(\frac{i}{2} + 1\right) A, i = 5, Q = \frac{7}{2} A.$$

$$2) T = \text{const} \quad Q = A = 6 \text{ кҶ.} \quad \text{Ҷавоб: } 21 \text{ кҶ, } 6 \text{ кҶ.}$$

2.23. Шинаи автомобилро то фишори  $P_1=220$  кПа дар температураи  $T_1=290$  К дам карданд. Дар вақти ҳаракат шина то температураи  $T_2=330$  К тафсида кафидааст. Протсеси дар шина баъди кафидан рӯйдодаро адиабатӣ ҳисобида, тағйироти температураи ҳавои аз он хориҷшавандаро ёбед. Фишори ҳавои беруна  $P_0$  ба 100 кПа аст баробар буданаширо ба назар гиред.

Маълумот:

$$P_1=220 \text{ кПа}$$

$$T_1=290 \text{ К}$$

$$T_2=330 \text{ К}$$

$$P_0=100 \text{ кПа}$$

$$\Delta T=?$$

Ҳал:

$$1) V = \text{const}, \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

$$2) \Delta Q = 0, \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_0}{T_2}, T_0 = T_2 \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = \frac{7}{5}$$

$$\Delta T = T_2 - T_0 = T_2 - T_2 \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \Delta T = T_2 \left(1 - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)$$

$$\text{Ҷавоб: } 76 \text{ К.}$$

2.24. Гармиғунҷоишҳои хоси  $c_p$  ва  $c_v$ -ро барои 1) гелий; 2) гидроген; 3) гази туршии карбон ҳисоб кунед.

Маълумот: Ҳал:

$$1) He$$

$$2) H_2$$

$$3) CO_2$$

$$c_v - ?$$

$$c_p - ?$$

$$c_v = \frac{iR}{2M}, c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M};$$

$$1) \text{ барои гелий } i=3, M=4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$c_v = \frac{3R}{2M} = 3,12 \cdot 10^3 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}}; c_p = \frac{5R}{2M} = 5,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}};$$

$$2) \text{ барои гидроген } i=5, M=2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$c_v = \frac{5R}{2M} = 10,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}}; c_p = \frac{7R}{2M} = 14,6 \cdot 10^3 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}};$$

$$3) \text{ барои } CO_2 \quad i=6,$$

$$c_v = \frac{3R}{M} = 567 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}}; c_p = \frac{4R}{M} = 755,4 \frac{\text{Љ}}{\text{кг К}}.$$

Ҷавобҳо: 1) 3,12 кҶ/(кг·К); 5,19 кҶ/(кг·К); 2) 10,4 кҶ/(кг·К); 14,6 кҶ/(кг·К); 3) 567 Ҷ/(кг·К); 755,4 Ҷ/(кг·К).

2.25. Нишондиҳандаи адиабатаро барои омехтае, ки аз  $\nu_1$  мол гази якатома ва  $\nu_2$  мол гази дуатома иборат аст, ҳисоб кунед. Молекулаҳо сахтанд.

$$\text{Ҳал: } \frac{C_V}{R} = \frac{3}{2}\nu_1 + \frac{5}{2}\nu_2; \frac{C_P}{R} = \frac{5}{2}\nu_1 + \frac{7}{2}\nu_2; \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5\nu_1 + 7\nu_2}{3\nu_1 + 5\nu_2}.$$

2.26. Адади дараҷаи озоди молекулаҳои газро, ки дар шароити нормалӣ зичиаш  $1,3 \text{ мг/см}^3$  ва суръати паҳншавии садо дар он  $330 \text{ м/с}$  аст, муқаррар намоед.

$$\text{Ҳал: } v = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}; \gamma = \frac{\rho v^2}{P} = \frac{i+2}{i}; i = \frac{2}{\gamma-1} = \frac{2}{\frac{\rho v^2}{P} - 1} = 5.$$

Ҷавоб:  $i=5$ .

2.27. Массайи молӣ ва адади дараҷаҳои озоди молекулаи газро ёбед, ки гармиғунҷоишҳои хоси газ  $C_V=650 \text{ Ҷ/(кг К)}$  ва  $C_P=910 \text{ Ҷ/(кг К)}$  маълуманд.

$$\text{Ҳал: } M(C_P - C_V) = R, M = \frac{R}{C_P - C_V} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол.}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{2}{i} + 1; i = \frac{2C_V}{C_P - C_V} = 5.$$

Ҷавоб:  $M=32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}; i=5$ .

2.28. Фарқи гармиғунҷоишҳои хос  $c_p$  ва  $c_v$  барои ягон гази дуатома  $260 \text{ Ҷ/(кг·К)}$  аст. Массайи молии газ  $M$  ва гармиғунҷоишҳои хосаш  $c_p$  ва  $c_v$ -ро муайян кунед.

Маълумот:

$$c_p - c_v = 260 \text{ Ҷ/(кг К)}$$

$M=?$

$$c_v = ?$$

$$c_p = ?$$

$$c_p - c_v = \frac{R}{M}, M = \frac{R}{c_p - c_v}, c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M},$$

$$\text{Ҳал: } c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{M}, i = 5, c_p = \frac{7}{2} \frac{R}{M}$$

$$c_v = \frac{5}{2} \frac{R}{M}$$

$$c_p = 910 \text{ Ҷ/кг К}, c_v = 650 \text{ Ҷ/кг К}.$$

Ҷавоб:  $0,032 \text{ кг/мол}, 650 \text{ Ҷ/(кг К)}, 910 \text{ Ҷ/(кг К)}$ .

2.29. Гармиғунҷоишҳои хос  $c_p$  ва  $c_v$ -ро барои омехтаи оксигени массааш  $m_1=10 \text{ г}$  ва нитрогени массааш  $m_2=20 \text{ г}$  ҳисоб кунед.

Маълумот:

$$m_1=10 \text{ г}$$

$$m_2=20 \text{ г}$$

$$c_v = ?$$

Ҳал:

$$c_p = ? \quad Q = c_v(m_1 + m_2)\Delta T = c_{v1}m_1\Delta T + c_{v2}m_2\Delta T$$

$$c_v(m_1 + m_2) = c_{v1}m_1 + c_{v2}m_2, c_v = \frac{c_{v1}m_1}{m_1 + m_2} + \frac{c_{v2}m_2}{m_1 + m_2}$$

$$c_v = c_{v1}\omega_1 + c_{v2}\omega_2, c_v = \frac{iR}{2M_1} \cdot \frac{m}{m_1 + m_2} + \frac{iR}{2M_2} \cdot \frac{m}{m_1 + m_2}$$

$$c_v = \frac{iR}{2(m_1 + m_2)} \cdot \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) = \frac{5R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right)$$

$$c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}, c_p = \frac{c_{p1}m_1}{m_1 + m_2} + \frac{c_{p2}m_2}{m_1 + m_2}$$

$$c_p = \frac{(i+2)R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) = \frac{7R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right)$$

$c_v=711 \text{ Ҷ/кг К}, c_p=995 \text{ Ҷ/кг К}. \quad \text{Ҷавоб: } 711 \text{ Ҷ/(кг К)}, 995 \text{ Ҷ/(кг К)}.$

2.30. Гармиғунҷоиши хоси  $c_v$  омехтаи газҳои гидроген ( $V_1=5$  л) ва гелий ( $V_2=3$  л)-ро муайян кунед. Газҳо дар шароити якхела воқеъанд.

Маълумот:

$$V_1=5 \text{ л}$$

$$V_2=3 \text{ л}$$

$$c_v=?$$

Ҳал:

$$c_v = \frac{iR}{2M}, c_v = c_{v1}\omega_1 + c_{v2}\omega_2, \omega_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2}, \omega_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

$$c_v = \frac{i_1}{2} \frac{R}{M_1} \frac{V_1}{V_1 + V_2} + \frac{i_2}{2} \frac{R}{M_2} \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

$$c_v = \frac{R}{2(V_1 + V_2)} \left( \frac{i_1}{M_1} V_1 + \frac{i_2}{M_2} V_2 \right)$$

$$c_v=766 \text{ кҶ/кг К}. \quad \text{Ҷавоб: } 766 \text{ кҶ/(кг К)}.$$

2.31. Гармиғунҷоиши хоси  $c_v$  омехтаи оксиген ( $\nu_1=2$  мол) ва нитроген ( $\nu_2=4$  мол)-ро муайян намоед.

Маълумот:

$$\nu_1=2 \text{ мол}$$

$$\nu_2=4 \text{ мол}$$

$$c_p=?$$

$$Q = c_{p1}\omega_1 + c_{p2}\omega_2, \omega_1 = \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2}, \omega_2 = \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}, i_1 = i_2 = i = 5$$

$$\text{Ҳал: } c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M_1} \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2} + \frac{i+2}{2} \frac{R}{M_2} \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{(\nu_1 + \nu_2)} \left( \frac{\nu_1}{M_1} + \frac{\nu_2}{M_2} \right) = \frac{7}{2(\nu_1 + \nu_2)} \left( \frac{\nu_1}{M_1} + \frac{\nu_2}{M_2} \right)$$

$$c_p=990 \text{ Ҷ/кг К}. \quad \text{Ҷавоб: } 990 \text{ Ҷ/кг К}.$$

2.32. Дар зарф аргон ва нитроген ҷойгиранд, ҳиссаи массавии аргон  $\omega_1$  ва нитроген  $\omega_2$  мебошад. Гармиғунҷоиши хоси  $c_v$  омехтаи ин газҳоро ёбед, агар  $\omega_1 = \omega_2 = 0,5$  бошад.



Маълумот:

$$\frac{\omega_1 = \omega_2 = \omega = 0,5}{c_V - ?}$$

Ҳал:

$$c_V = c_{V1}\omega_1 + c_{V2}\omega_2, \omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}, \omega_1 = \omega_2 = \omega$$

$$c_V = \frac{i_1}{2} \frac{R}{M_1} \omega + \frac{i_2}{2} \frac{R}{M_2} \omega, i_1 = 3, i_2 = 5, c_V = \frac{R\omega}{2} \left( \frac{i_1}{M_1} + \frac{i_2}{M_2} \right)$$

$$c_V = 526 \text{ Ҷ/кг К.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 526 \text{ Ҷ/(кг К).}$$

2.33. Омехтаи газ аз хлор ва криптони дар шароити якхела ва ҳаҷмҳои баробар гирифташуда иборат аст. Гармиғунҷоиши хоси с<sub>p</sub> омехтаро муқаррар намоед.

Маълумот:

$$\frac{V_1 = V_2 = V}{c_p - ?}$$

Ҳал:

$$c_p(m_1 + m_2) = c_{p1}m_1 + c_{p2}m_2; c_{p1} = \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_1}; c_{p2} = \frac{i_2 + 2}{2} \frac{R}{M_2};$$

$$i_1 = 5, i_2 = 3; c_{p1} = \frac{7}{2} \frac{R}{M_1}; c_{p2} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_2}; c_p = \frac{c_{p1}m_1 + c_{p2}m_2}{m_1 + m_2};$$

$$c_p = \frac{R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{7m_1}{M_1} + \frac{5m_2}{M_2} \right); pV = \frac{m}{M} RT; m_1 = \frac{pVM_1}{RT}; m_2 = \frac{pVM_2}{RT};$$

$$c_p = \frac{R}{2 \left( \frac{pVM_1}{RT} + \frac{pVM_2}{RT} \right)} \left( \frac{7pV}{RT} + \frac{5pV}{RT} \right); c_p = \frac{6R}{M_1 + M_2}.$$

$$c_p = 417 \text{ Ҷ/(кг К). Ҷавоб: } 417 \text{ Ҷ/(кг К).}$$

2.34. Гармиғунҷоиши хоси с<sub>v</sub> омехтаи газҳои ксенон ва оксигенро муайян кунед, агар миқдори моддаи газҳои омехта баробар бошанд.

Маълумот:

$$v_1 = v_2 = v$$

$$i_1 = 5$$

$$i_2 = 3$$

$$M_1 = 131,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$M_2 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$c_V = ?$$

$$c_V = c_{V1}\omega_1 + c_{V2}\omega_2; \omega_1 = \frac{v_1}{v_1 + v_2}; \omega_2 = \frac{v_2}{v_2 + v_1}; v_1 = v_2 = v;$$

$$\text{Ҳал: } \omega_1 = \omega_2 = \frac{v}{2v} = \frac{1}{2}; c_V = \frac{1}{2}(c_{V1} + c_{V2}) = \frac{1}{2} \left( \frac{i_1}{2} \frac{R}{M_1} + \frac{i_2}{2} \frac{R}{M_2} \right);$$

$$c_V = \frac{R}{4} \left( \frac{i_1}{M_1} + \frac{i_2}{M_2} \right) = \frac{R}{4} \left( \frac{3}{M_1} + \frac{5}{M_2} \right).$$

$$c_V = 372,1 \text{ Ҷ/(кг К). Ҷавоб: } 372,1 \text{ Ҷ/(кг К).}$$

2.35. Нишондиҳандаи адиабата  $\gamma$ -ро барои омехтаи  $m_1 = 10$  г гелий  $m_2 = 4$  г гидроген чӣ қадар аст?

Маълумот: Ҳал:

$$m_1 = 10 \text{ г}$$

$$m_2 = 4 \text{ г}$$

$$\gamma = ?$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{c_p}{c_v}; i_1 = 3; i_2 = 5; c_p = c_{p1} \frac{m_1}{m_1 + m_2} + c_{p2} \frac{m_2}{m_1 + m_2}; c_p = \frac{i + 2}{2} \frac{R}{M}; \\ c_p &= \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_1} \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} + \frac{i_2 + 2}{2} \frac{R}{M_2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}; \\ c_p &= \frac{R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{5m_1}{M_1} + \frac{7m_2}{M_2} \right); c_v = \frac{i_1}{2} \cdot \frac{R}{M_1} \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} + \frac{i_2}{2} \cdot \frac{R}{M_2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}; \\ c_v &= \frac{R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{3m_1}{M_1} + \frac{5m_2}{M_2} \right); \gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{5m_1M_2 + 7m_2M_1}{3m_1M_2 + 5m_2M_1} = 1,51. \end{aligned}$$

Ҷавоб: 1,51

2.36. Омехтаи газҳо аз аргон ва нитроген иборат аст, ки дар шароити якхела ва ҳаҷмҳои баробар гирифта шудаанд. Нишондиҳандаи адиабата  $\gamma$ -ро барои ин омехтаи газҳо ёбед.

Маълумот:

$$\begin{aligned} V_1 = V_2 = V \\ \gamma = ? \end{aligned}$$

Ҳал:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}; c_p(m_1 + m_2) = c_{p1}m_1 + c_{p2}m_2; c_{p1} = \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_1}; c_{p2} = \frac{i_2 + 2}{2} \frac{R}{M_2};$$

$$i_1 = 3; i_2 = 5; c_{p1} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_1}; c_{p2} = \frac{7}{2} \frac{R}{M_2};$$

$$c_p = \frac{c_{p1}m_1 + c_{p2}m_2}{(m_1 + m_2)} = \frac{R}{2(m_1 + m_2)} \left( \frac{5m_1}{M_1} + \frac{7m_2}{M_2} \right); pV = \frac{m}{M} RT, m_1 = \frac{pVM_1}{RT};$$

$$m_2 = \frac{pVM_2}{RT}; c_p = \frac{R \cdot 12}{2(M_1 + M_2)} = \frac{6R}{M_1 + M_2}; c_{v1} = \frac{i_1}{2} \frac{R}{M_1} = \frac{3}{2} \frac{R}{M_1};$$

$$c_{v2} = \frac{i_2}{2} \frac{R}{M_2} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_2}; c_v = \frac{R}{2(M_1 + M_2)} \left( \frac{3m_1}{M_1} + \frac{5m_2}{M_2} \right); c_v = \frac{4R}{M_1 + M_2}; \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,5.$$

Ҷавоб: 1,5.

2.37. Нишондиҳандаи адиабата  $\gamma$ -ро барои омехтаи газҳои гидроген ва неон муайян кунед, агар ҳиссаи массавии ҳар ду газ дар омехта баробар бошад ( $\omega = 0,5$ ).

Маълумот:

$$\omega = 0,5$$

$$\gamma = ?$$

Ҳал:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{c_p}{c_v}; c_p = c_{p1}\omega + c_{p2}\omega, c_{p1} = \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_1} = \frac{7}{2} \frac{R}{M_1}; \\ c_{p2} &= \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_2} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_2}; c_{p2} = \frac{1}{2} \left( \frac{7}{2} \frac{R}{M_1} + \frac{5}{2} \frac{R}{M_2} \right) = \frac{R}{4} \left( \frac{7}{M_1} + \frac{5}{M_2} \right); \\ c_p &= \frac{R}{4} \left( \frac{7M_2 + 5M_1}{M_1 M_2} \right); c_v = c_{v1}\omega + c_{v2}\omega; c_{v1} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_1}; c_{v2} = \frac{3}{2} \frac{R}{M_2}; \\ c_v &= \frac{R}{4} \left( \frac{5}{M_1} + \frac{3}{M_2} \right) = \frac{R}{4} \left( \frac{5M_2 + 3M_1}{M_1 M_2} \right); \gamma = \frac{7M_2 + 5M_1}{5M_2 + 3M_1} = 1,42. \end{aligned}$$

Ҷавоб: 1,42.

2.38. Нишондиҳандаи адиабата барои омехтаи газҳои оксиген ва аргон ёфта шавад, агар миқдори моддаи ҳарду газ дар омехта баробар ( $\nu$ ) бошад.

Маълумот:

Ҳал:

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \nu_2 = \nu \\ \gamma &=? \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}; i_1 = 5; i_2 = 3; c_{v1} = \frac{i_1}{2} \frac{R}{M_1} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_1}; c_{v2} = \frac{i_2}{2} \frac{R}{M_2} = \frac{3}{2} \frac{R}{M_2};$$

$$c_v = c_{v1}\omega_1 + c_{v2}\omega_2; \omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{M_1\nu}{M_1\nu + M_2\nu} = \frac{M_1}{M_1 + M_2};$$

$$\omega_2 = \frac{M_2}{M_1 + M_2}; c_v = \frac{5}{2} \frac{R}{(M_1 + M_2)} + \frac{3}{2} \frac{R}{(M_1 + M_2)};$$

$$c_v = \frac{R}{2} \left( \frac{5 + 3}{M_1 + M_2} \right) = \frac{4R}{M_1 + M_2}; c_{p1} = \frac{i_1 + 2}{2} \frac{R}{M_1} = \frac{7}{2} \frac{R}{M_1};$$

$$c_{p2} = \frac{i_2 + 2}{2} \frac{R}{M_2} = \frac{5}{2} \frac{R}{M_2}; c_p = \frac{R}{2} \left( \frac{7 + 5}{M_1 + M_2} \right) = \frac{6R}{M_1 + M_2}; \gamma = 1,5.$$

Ҷавоб: 1,5.

2.39. Нишондиҳандаи адиабатаи гази нитрогени қисман диссоциатсияшуда дар ҳоли дараҷаи диссоциатсия  $\alpha = 0,4$  будан чӣ қадар аст?

Маълумот:

Ҳал:

$$\alpha = 0,4$$

$$C_p\nu\Delta T = C_{p1}\nu_1\Delta T + C_{p2}\nu_2\Delta T; C_p\nu = C_{p1}\nu_1 + C_{p2}\nu_2;$$

$$\gamma = ?$$

$$C_v\nu = C_{v1}\nu_1 + C_{v2}\nu_2; \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_{p1}\nu_1 + C_{p2}\nu_2}{C_{v1}\nu_1 + C_{v2}\nu_2}.$$

Барои  $N: i=3$  ва  $N_2: i=7$  бо дарназардошти дараҷаи озоди комбинатсиягӣ:

$$C_{v1} = \frac{3}{2}R; C_{v2} = \frac{7}{2}R; C_{p1} = \frac{5}{2}R; C_{p2} = \frac{9}{2}R; \nu_1 = \frac{\alpha \cdot m}{M_1} = \frac{2\alpha \cdot m}{M}$$

$$M(N) = \frac{M(N_2)}{2}, v_2 = \frac{(1-\alpha) \cdot m}{M}, \gamma = \frac{\frac{5R}{2} \cdot \frac{2\alpha \cdot m}{M} + \frac{9R}{2} \cdot \frac{(1-\alpha) \cdot m}{M}}{\frac{3R}{2} \cdot \frac{2\alpha \cdot m}{M} + \frac{7R}{2} \cdot \frac{(1-\alpha) \cdot m}{M}}$$

$$\gamma = \frac{5\alpha + \frac{9}{2}(1-\alpha)}{3\alpha + \frac{7}{2}(1-\alpha)} = \frac{\alpha + 9}{7 - \alpha}, \gamma = 1,42.$$

Ҷавоб: 1,42.

2.40. Дараҷаи диссотсиатсияи газии қисман диссотсиатсияшудаи хлорро муайян кунед, агар нишондиҳандаи адиабаташ  $\gamma = 1,55$  бошад.

Маълумот:  $\gamma = 1,55$   
 $\alpha - ?$

Ҷал:  $\gamma = \frac{\alpha + 9}{7 - \alpha}; 7\gamma - \alpha\gamma = \alpha + 9; \alpha = \frac{7\gamma - 9}{\gamma + 1} = 0,725.$

Ҷавоб: 0,725.

2.41. Барои ба  $\Delta T = 12$  К гарм кардани оксигени массааш  $m = 160$  г миқдори гармии  $Q = 1,76$  кҶ сарф шуд. Протсес ҳангоми доимӣ будани фишор гузашт ё ҳаҷм?

Маълумот:  $\Delta T = 12$  К  
 $m = 160$  г  
 $Q = 1,76$  кҶ  
 $i = 5$

Ҷал: Барои протсеси изохорӣ

$$Q = \frac{m}{M} c_v \Delta T; c_v = \frac{i}{2} R = \frac{5}{2} R;$$

$$Q = \frac{m}{M} \frac{5}{2} R \Delta T.$$

Барои протсеси изобарӣ

$$Q = \frac{m}{M} c_p \Delta T; c_p = \frac{i + 2}{2} R = \frac{7}{2} R;$$

$$Q = \frac{m}{M} \frac{7}{2} R \Delta T.$$

$Q_v = 1,25$  кҶ;  $Q_p = 1,76$  кҶ. Ҷавоб: 1,76 кҶ. Пас, протсес ҳангоми доимӣ будани фишор гузаштааст.

2.42. Ҳангоми адиабатӣ фишурдани газ ҳаҷмаш  $n = 10$  маротиба хурд шуду фишораш  $k = 21,4$  маротиба афзуд. Бо истифода аз ин маълумот нисбати

гармиғунҷоишҳо  $\frac{c_p}{c_v}$ -и газро муайян кунед.

Маълумот:  $n = 10$   
 $k = 21,4$   
 $c_p / c_v - ?$

Ҷал:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}; \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma; \frac{21,4 p_1}{p_1} = \left( \frac{10 V_2}{V_2} \right)^\gamma; 21,4 = 10^\gamma, \log_{10} 21,4 = \gamma;$$

$$\lg 21,4 = \gamma; \gamma = 1,33.$$

Ҷавоб: 1,33.

2.43. Ҳангоми массаи  $m=1$  кг оксигенро адиабатӣ фишурдан кори  $A=100$  кҶ иҷро шуд. Агар то фишурдани оксиген дар температураи  $T_1=300$  К бошад, температураи интиҳои он  $T_2$  –ро муайян намоед.

Маълумот:

$m=1$  кг  
 $A=100$  кҶ  
 $T_1=300$  К  
 $T_2=?$

Ҳал:

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_2 - T_1); C_v = \frac{5}{2} R; T_2 = \frac{AM}{mC_v} + T_1 = 454 \text{ K}.$$

Ҷавоб: 454 К.

2.44. Кори адиабатӣ васеъшавии гидрогени массааш  $m=4$  г-ро ёбед, агар температураи газ ба қадри  $\Delta T = 10$  К паст фуromaда бошад.

Маълумот:

$m=4$  г  
 $\Delta T = 10$  К  
 $A=?$

Ҳал:

$$A = \frac{m}{M} C_v \Delta T; C_v = \frac{5}{2} R.$$

$A=416$  Ҷ.

Ҷавоб: 416 Ҷ.

2.45. Нитрогени массааш  $m=2$  г, ки температурааш  $T_1=300$  К буд, адиабатӣ фишурданд, ки ҳаҷмаш  $n=10$  маротиба кам шуд. Температураи ниҳоии газ  $T_2$  ва кори барои фишурдан иҷро шударо муайян созед.

Маълумот:

$m=2$  г  
 $T_1=300$  К  
 $n=10$   
 $T_2=?$   
 $A=?$

Ҳал:

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_2 - T_1); C_v = \frac{i}{2} R; T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}; \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i};$$

$$i = 5; \frac{V_1}{V_2} = n; \gamma = 1,4; T_2 = T_1 n^{0,4} = 754 \text{ K}; A = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R (T_2 - T_1).$$

$A=674$  Ҷ.

Ҷавоб: 754 К; 674 Ҷ.

2.46. Оксигене, ки таҳти фишори  $P_1=1,2$  МПа ҳаҷми  $V_1=1$  л-ро ишғол мекард адиабатӣ то ҳаҷми  $V_2=10$  л васеъ шуд. Кори иҷрокардаи газ ҳангоми васеъшавӣ чӣ қадар аст?

Маълумот:

$P_1=1,2$  МПа  
 $V_1=1$  л  
 $V_2=10$  л  
 $A=?$

Ҳал:

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{M} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]; p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT_1; T_1 = \frac{p_1 V_1 M}{mR};$$

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right].$$

$A=1810$  Ҷ.

Ҷавоб: 1,81 кҶ.

2.47. Ҳангоми адиабатӣ васеъшавии оксигени температураи ибтидоиаш  $T_1=320$  К энергияи дохилиаш ба  $\Delta U=8,4$  Ҷ каму ҳаҷмаш  $n=10$  маротиба афзуд. Массай оксигенро бо истифода аз ин маълумот ёбед.

Маълумот:

$$T_1=320 \text{ К}$$

$$\Delta U=8,4 \text{ Ҷ}$$

$$n=10$$

$$m=?$$

Ҳал:

$$\Delta U = \frac{m}{M} C_v \Delta T; C_v = \frac{i}{2} R; \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T; \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}; \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4; T_2 = T_1 \left( \frac{1}{n} \right)^{\gamma-1}; i = 5;$$

$$m = \frac{2 \Delta U M}{i R \Delta T} = \frac{2 \Delta U M}{5 i R \Delta T}.$$

Ҷавоб:  $67,2 \cdot 10^{-3}$  кг.

2.48. Ҳаҷми гидроген дар шароити нормалӣ  $V_1=100$  м<sup>3</sup> буд. Ҳангоми адиабатӣ васеъшавии ҳаҷми он то  $V_2=150$  м<sup>3</sup> энергияи дохилии газ чӣ қадар тағйир меёбад?

Маълумот:

$$V_1=100 \text{ м}^3$$

$$V_2=150 \text{ м}^3$$

$$\Delta U=?$$

$$\text{Ҳал: } \Delta U = -A = -\frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]; \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4.$$

Ҷавоб:  $-3,8$  МҶ.

2.49. Дар цилиндр таҳти поршин гидрогени массааш  $m=0,02$  кг дар температураи  $T_1=300$  К ҷойгир аст. Ҳаҷми гидрогенро адиабатӣ 5 маротиба васеъ карданд, баъди изотермӣ фишурдан ҳаҷм 5 маротиба хурд гардид. Температураро дар интиҳои адиабатӣ васеъшавӣ  $T_2$  ва кори пурраи иҷро кардаи газро  $A$  муайян намоед.

Маълумот:

$$m=0,02 \text{ кг}$$

$$T_1=300 \text{ К}$$

$$T_2=?$$

$$A=?$$

Ҳал:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}; T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}.$$

Ҳангоми адиабатӣ васеъшавии газ:

$$A_1 = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2) = 29,7 \text{ кҶ}.$$

Ҳангоми изотермӣ фишурдан кори қувваҳои беруна мусба-ту кори система манфӣ буданастро ба назар мегирем:

$$A_2 = RT_2 \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$A = A_1 + A_2$$

$$A = 29,7 \text{ кҶ} - 10,9 \text{ кҶ} = 8,8 \text{ кҶ}.$$

Ҷавоб:  $8,8$  кҶ.

2.50. Дар натиҷаи адиабатӣ фишурдани оксигени массааш  $m=0,02$  кг энергияи дохилӣ ба қадри  $\Delta U=8$  кҶ зиёд ва температурааш то  $T_2=900$  К баланд гардид. 1) Баландшавии температура  $\Delta T$ ; 2) фишори ниҳоии газ  $P_2$  ёфта шавад, агар фишори ибтидоиаш  $P_1=200$  кПа бошад.

Маълумот:

$\Delta U = 8 \text{ кЧ}$

$m = 0,02 \text{ кг}$

$T_2 = 900 \text{ К}$

$P_1 = 200 \text{ кПа}$

1)  $\Delta T = ?$

2)  $P_2 = ?$

Ҳал:

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta T; A = -\Delta U = -\frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T;$$

$$\Delta T = \frac{2M\Delta U}{5mR}; T_1 = T_2 - \Delta T; \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1/\gamma};$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma/\gamma-1}.$$

Ҷавоб: 616К, 11,4 МПа.

2.51. Ҳавое, ки таҳти фишори  $P_1 = 100 \text{ кПа}$  ҳаҷми  $V_1 = 10 \text{ л}$ -ро ишғол мекард адиабатӣ то ҳаҷми  $V_2 = 1 \text{ л}$  фишурданд. Баъди фишурдан ҳаво таҳти чӣ қадар фишор мешавад?

Маълумот:

$P_1 = 100 \text{ кПа}$

$V_1 = 10 \text{ л}$

$V_2 = 1 \text{ л}$

$P_2 = ?$

Ҳал:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma; \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = 1,4; P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma.$$

Ҷавоб: 2,5 МПа.

2.52. Омехтаи сӯзишворӣ дар муҳаррики дизелӣ дар температураи  $T_2 = 1,1 \text{ кК}$  месӯзад. Температураи ибтидоии омехта  $T_1 = 350 \text{ К}$ . Ҳангоми фишурдан ҳаҷми омехтаро чанд маротиба кам кардан мебояд, ки он аланга гирад? Фишурданро адиабатӣ ҳисобед. Нишондиҳандаи адиабатаро барои омехта  $\gamma = 1,4$  қабул намоед.

Маълумот:

$T_2 = 1,1 \text{ кК}$

$T_1 = 350 \text{ К}$

$\gamma = 1,4$

$V_1/V_2 = ?$

Ҳал:

$$\frac{T_2}{T_1} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}; \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 17,5$$

Ҷавоб: 17,5 маротиба.

2.53. Гази туршии карбон  $\text{CO}_2$ -и массааш  $m = 400 \text{ г}$ -ро дар фишори доимӣ ба қадри  $\Delta T = 50 \text{ К}$  гарм карданд. Тағйироти энергияи дохилии газ  $\Delta U$ , миқдори гармии қабулкардаи газ ва қори иҷрошуда чӣ қадаранд?

Маълумот:

$m = 400 \text{ г}$

$\Delta T = 50 \text{ К}$

$\Delta U = ?$

$Q = ?$

$A = ?$

Ҳал:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T, i = 6$$

$$A = \frac{m}{M} R \Delta T, Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = 11,3 \text{ кЧ}, \quad A = 5,8 \text{ кЧ}, \quad Q = 17 \text{ кЧ}.$$

Ҷавоб: 11,3 кЧ, 5,8 кЧ, 17 кЧ.

2.54. Оксигени массааш  $m = 800 \text{ г}$ -ро изохорӣ аз температураи  $t_1 = 100^\circ \text{C}$  то  $t_2 = 20^\circ \text{C}$  сард гардонданд. 1) Миқдори гармии хориҷ кардаи газ; 2) тағйирёбии энергия дохилӣ ва 3) қори иҷрошударо муайян намоед.

Маълумот:	Ҳал:
$m=800 \text{ г}$	$Q = \Delta U, A = 0, i = 5, Q = \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$
$t_1 = 100^\circ \text{C}$	
$t_2 = 20^\circ \text{C}$	$Q = \Delta U = -41,6 \text{ кҶ.}$
$\Delta U = ? \quad Q = ? \quad A = ?$	Ҷавоб: $-41,6 \text{ кҶ}; -41,6 \text{ кҶ}; 0.$

2.55. Фишори нитрогени дар балони 3 л буда ҳангоми гарм кардан ба қадри  $\Delta P = 1 \text{ МПа}$  афзуд. Миқдори гармии қабулкардаи газро  $Q$  ёбед.

Маълумот:	Ҳал:
$V = 3 \text{ л}$	$Q = \Delta U, A = 0, i = 5, Q = \Delta U = \frac{i}{2} V \Delta p = 7,5 \text{ кҶ.}$
$\Delta P = 1 \text{ МПа}$	
$Q = ?$	Ҷавоб: $7,5 \text{ кҶ.}$

2.56. Дар натиҷаи протсеси даврӣ газ кори  $A = 1 \text{ Ҷ}$  иҷро кард ва ба гармигир миқдори гармии  $4,22 \text{ Ҷ}$ -ро дод. Коэффисиенти кори Ҷоиданоки  $\eta$  ҳароратии сиклро муайян намоед.

Маълумот:	Ҳал:
$A = 1 \text{ Ҷ}$	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; Q_1 = A + Q_2; \eta = \frac{A}{A + Q_2} = 0,193.$
$Q_2 = 4,22 \text{ Ҷ}$	

$\eta = ?$	Ҷавоб: $0,193.$
------------	-----------------

2.57. Ҳангоми протсеси сарбастро иҷро кардан газ аз гармидеҳ миқдори гармии  $Q_1 = 4 \text{ кҶ}$  - ро гирифт. Агар коэффисиенти кори Ҷоиданоки ҳароратӣ  $\eta = 0,1$  бошад, кори иҷрокардаи газ ҳангоми гузаштани сикл чӣ қадар аст?

Маълумот:	Ҳал:
$Q_1 = 4 \text{ кҶ}$	$\eta = \frac{A}{Q_1}; A = \eta Q_1 = 400 \text{ Ҷ.}$
$\eta = 0,1$	
$A = ?$	Ҷавоб: $400 \text{ Ҷ.}$

2.58. 4 мол гази идеалии дуатома сиклро иҷро мекунад, ки аз ду изохора ва аз ду изобара иборат аст. Ҳаҷми хурдтарин  $V_{\min} = 10 \text{ л}$  ва калонтарин  $V_{\max} = 20 \text{ л}$ , фишорҳои камтарин  $P_{\min} = 246 \text{ кПа}$  ва калонтарин  $P_{\max} = 410 \text{ кПа}$  буданаширо ба эътибор гирифта температураи газро дар нуқтаҳои тавсифии сикл ва коэффисиенти кори Ҷоиданоки ҳароратии онро муайян намоед.

Маълумот:	Ҳал:
$\nu = 4 \text{ мол}$	
$V_{\min} = 10 \text{ л}$	
$V_{\max} = 20 \text{ л}$	
$P_{\min} = 246 \text{ кПа}$	
$P_{\max} = 410 \text{ кПа}$	



$$T=?$$

$$\eta = ? \quad \eta = \frac{A}{Q_1} 100\%; A = (P_{max} - P_{min})(V_{max} - V_{min});$$

$$Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3};$$

$$Q_{1-2} = \Delta U = \frac{5m}{2M} R \Delta T = \frac{5}{2} V_{min} (P_{max} - P_{min});$$

$$Q_{2-3} = \Delta U + A = \frac{5}{2} P_{max} (V_{max} - V_{min}) + P_{max} (V_{max} - V_{min});$$

$$Q_{2-3} = \frac{7}{5} P_{max} (V_{max} - V_{min}); \eta = 8,9\%.$$

$$T_1 = \frac{P_{min} V_{min}}{\nu R}; T_2 = \frac{P_{max} V_{min}}{\nu R}; T_3 = \frac{P_{max} V_{max}}{\nu R};$$

$$T_4 = \frac{P_{min} V_{max}}{\nu R}.$$

Ҷавоб: 8,9%; 74 К; 123 К; 246 К; 148 К.

2.59. Як киломол гази идеалии дуатома сикли сарбастаро иҷро мекунад, ки дар расм тасвир ёфтааст. 1) Микдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда  $Q_1$ , 2) микдори гармии ба гармигир додашуда  $Q_2$ , 3) кори газро дар сикл  $A$ , 4) ККФ-и ҳароратии сикло муқаррар намоед.

Маълумот:	Ҳал:
$\nu = 1$ кмол	$Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3};$
$Q_1 = ?$	$Q_{1-2} = \Delta U = \frac{5}{2} (p_2 - p_1) V_1;$
$Q_2 = ?$	$Q_{2-3} = \Delta U + A = \frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1) + p_2 (V_2 - V_1) = \frac{7}{2} p_2 (V_2 - V_1);$
$A = ?$	$Q_1 = \frac{5}{2} (p_2 - p_1) V_1 + \frac{7}{2} p_2 (V_2 - V_1);$
$\eta = ?$	$Q_2 = Q_{3-4} + Q_{4-1} = \Delta U = \frac{7}{2} V_2 (p_2 - p_1);$
	$Q_{4-1} = \frac{7}{2} p_2 (V_2 - V_1); Q_2 = \frac{5}{2} V_2 (p_2 - p_1) + \frac{7}{2} p_2 (V_2 - V_1);$
	$A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1); \eta = \frac{A}{Q_1} 100\% = 5,3\%.$

$$Q_1 = 7,61 \text{ МҶ}; Q_2 = 7,21 \text{ МҶ}; A = 0,4 \text{ МҶ}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 7,61 \text{ МҶ}; 7,21 \text{ МҶ}; 0,4 \text{ МҶ}; 5,3\%.$$

2.60. Як мол гази идеалии дуатома дар температураи  $T_1 = 300$  К фишораш  $P_1 = 0,1$  МПа бударо изохорӣ то фишори  $P_2 = 0,2$  МПа гарм мекунад. Баъди ин газро изотермӣ то фишори ибтидоиаш васеъ менамоянд. Дар охир изобарӣ то ҳаҷми аввала  $V_1$  мефишоранд. Графики сикло созед. Температураи газро дар нуқтаҳои тавсифӣ  $T_2$  ва ККФ-и ҳароратии сикло муайян кунед.

Маълумот:

$$\nu = 1 \text{ кмол}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$P_2 = 0,2 \text{ МПа}$$

$$T_2 = ?$$

$$\eta = ?$$

Ҳал:

$$Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3}, Q_{1-2} = \Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1);$$

$$i = 5; V = \text{const}; \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}; T_2 = \frac{p_2 T_1}{p_1} = 600 \text{ К}.$$

$$Q_{2-3} = \nu R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1}; \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2};$$

$$Q_1 = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \nu R T_2 \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right); Q_2 = Q_{1-3} = \frac{7}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_2 \ln \frac{p_1}{p_2} - (T_2 - T_1)}{\frac{5}{2} (T_2 - T_1) + T_2 \ln \frac{p_1}{p_2}} = 9,9\%.$$

Ҷавоб: 600 К; 9,9%.

2.61. Гази идеалии бисёратома сиклро иҷро мекунад, ки аз ду изохора ва ду изобара иборат аст. Фишори зиёдтаринаш назар ба фишори камтаринаш ду маротиба зиёд, ҳаҷми калонтаринаш аз ҳаҷми хурдтаринаш 4 маротиба зиёд буданашро ба назар гирифта ККФ-и ҳароратии  $\eta$  сиклро ёбед.

Маълумот:

$$p_2 = 2p_1$$

$$V_2 = 4V_1$$

$$\eta = ?$$

Ҳал:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}; p_2 = 2p_1; V_2 = 4V_1; i = 6;$$

$$A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = 3V_1 p_1; Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3}$$

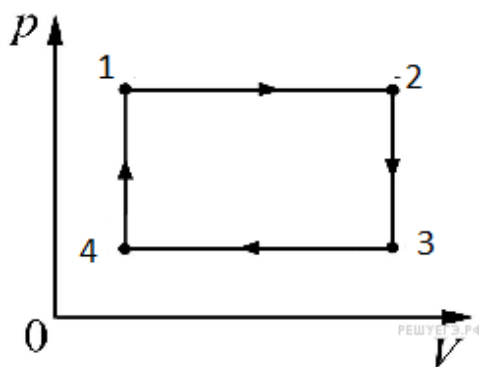
$$Q_{1-2} = \Delta U = \frac{i}{2} V_1 (p_2 - p_1) = \frac{i}{2} V \cdot p_1 = 3V_1 p_1;$$

$$Q_{2-3} = \Delta U + A = \left( \frac{i}{2} + 1 \right) p_2 (V_2 - V_1) = 24p_1 V_1;$$

$$Q_1 = 27p_1 V_1; \eta = \frac{3p_1 V_1}{27p_1 V_1} = 0,11.$$

Ҷавоб: 0,11.

2.62. Сикли термодинамикӣ бо як мол газ гузаронида мешавад. Ҳолатҳои пай дар пай дар диаграммаи  $P, V$  тасвир ёфтаанд;  $V_2 = 2V_1$  (ниг. ба расм). Температури ҳолати дуюм  $T_2$  ва ҳолати чорум -  $T_4$  мебошанд. Қори дар қитъаҳои алоҳидаи сикл иҷрошуда ва ККФ-и мошини аз рӯи ин сикл дар амал бударо муайян намоед.



Хал: 1. Масоҳати фигураи ҳосилшуда дар координатаҳои  $PV$  ба кори иҷрошуда дар ин сикл баробару мусбат аст:  $\Delta P\Delta V > 0$ . Ин маънои онро дорад, ки система ҳамчун мошини ҳароратӣ кор мекунад.

2. Кори иҷрошударо дар ҳар як қитъа меёбем:  $A_{23} = A_{14} = 0$ , зеро дар ин қитъаҳо  $V = const$  мебошад.

$$A_{12} = P_1(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1) = \frac{RT_2}{2} > 0;$$

$$A_{34} = P_3(V_1 - V_2) = R(T_4 - T_3) = RT_4 < 0.$$

Ҳақиқатан, азбаски  $P_1 = P_2 = P'$ ,  $P_3 = P_4 = P''$  мебошанд,  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$  ё ки

$T_2 = 2T_1$  буданаш маълум мегардад.

Ба ҳамин монанд  $T_3 = 2T_4$  аст.

3. Кори пурраро меёбем:

$$A = A_{12} + A_{34} + A_{23} + A_{41} = R(T_2 - T_1 + T_4 - T_3) = \frac{R}{2}(T_2 - 2T_4).$$

4. Миқдори гармиҳои қабулкарда ва додаи ҷисми кориро дар ҳар як қитъаи сикл муайян менамоем.

Мувофиқи қонуни якуми термодинамика  $dQ = dU + dA$ ;

$dQ = C_v dT + PdV$  ё ки  $dQ = C_p dT$  мебошад.

Азбаски: 
$$\Delta Q_{12} = \int_1^2 C_p dT = C_p(T_2 - T_1) > 0.$$

$$\Delta Q_{34} = C_p(T_4 - T_3) < 0;$$

$$\Delta Q_{23} = \int_2^3 C_v dT = C_v(T_3 - T_2) < 0;$$

$$\Delta Q_{41} = \int_4^1 C_v dT = C_v(T_1 - T_4) > 0.$$

Гармии қабулкардаи система:  $Q_1 = Q_{12} + Q_{41} > 0$ , буданаш маълум мегардад.

Ба ҳамин монанд гармии додаш  $Q_2 = Q_{23} + Q_{34} < 0$  аст.

5. ККФ-и сиклро меёбем:

$$\eta = \frac{A_{\text{нол}}}{Q_{\text{загр}}} = \frac{A}{Q_1} = \frac{R(T_2 - T_1 + T_4 - T_3)}{C_p(T_2 - T_1) + C_v(T_1 - T_4)} = \frac{(\gamma - 1)(T_2 - 2T_4)}{(\gamma + 1)(T_2 - 2T_4)}, \text{ ин ҷо } \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

2.63. Гази идеалие, ки сикли Карноро иҷро мекунад,  $\frac{2}{3}$  ҳиссаи миқдори

гармии аз гармидеҳ гирифтаашро ба гармигир медиҳад. Температураи гармигир  $T_2$  ба 280 К баробар аст. Температураи гармидеҳро муқаррар намоед.

Маълумот: Ҳал:

$$T_2 = 280 \text{ K}$$

$$Q_2 = \frac{2}{3} Q_1$$

$$T_1 = ?$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \eta = \frac{Q_1 - \frac{2}{3} Q_1}{Q_1} = \frac{1}{3}; 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{3} T_1 = \frac{3T_2}{2}.$$

Ҷавоб: 420 К.

2.64. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Температураи гармигир 290 К мебошад. Агар температураи гармидеҳро аз  $T_1^1 = 400 \text{ K}$  то

$T_1^2 = 600 \text{ K}$  баланд бардорем, ККФ-и сикл чанд маротиба зиёд мешавад?

Маълумот:

Ҳал:

$$T_2 = 290 \text{ K}$$

$$T_1^1 = 400 \text{ K}$$

$$T_1^2 = 600 \text{ K}$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta_1 = \frac{T_1^1 - T_2}{T_1^1}; \eta_2 = \frac{T_1^2 - T_2}{T_1^2}; \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{T_1^1 - T_2}{T_1^2} \frac{T_1^1}{T_1^1 - T_2} = 1,88$$

Ҷавоб: 1,88

2.65. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Температураи гармидеҳ назар ба температураи гармигир се маротиба зиёд мебошад. Гармидеҳ ба газ миқдори гармии  $Q_1 = 42 \text{ кҶ}$ -ро дод. Газ чӣ қадар қор иҷро кардааст?

Маълумот: Ҳал:

$$Q_1 = 42 \text{ кҶ}$$

$$\frac{T_2 = 3T_1}{A = ?}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1}; \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; A = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right);$$

$$A = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{3T_2}\right) = \frac{2}{3} Q_1.$$

$A = 28 \text{ кҶ}$ .

Ҷавоб: 28 кҶ.

2.66. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Температураи гармидеҳ  $T_1 = 470 \text{ K}$  ва температураи гармигир  $T_2 = 280 \text{ K}$ . Ҳангоми изотермӣ васъшавӣ газ қори  $A = 100 \text{ Ҷ}$ -ро иҷро кард. ККФ-и ҳароратии сикл, миқдори гармие, ки газ ҳангоми фишурдашавӣ ба гармигир додааст, муқаррар созад.

Маълумот:

$$T_1 = 470 \text{ K}$$

$$T_2 = 280 \text{ K}$$

$$A = 100 \text{ Ҷ}$$

$$\eta = ?$$

$$Q_2 = ?$$

Ҳал:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Ҳангоми васъшавии изотермӣ

$$Q_2 = A; \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{A}; Q_2 = \frac{AT_2}{T_1} \dots \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 0,404. Q_2 = 59,6 \text{ Ҷ}.$$

Ҷавоб: 0,404; 59,6 Ҷ.

2.67. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Температураи гармидеҳ аз температураи гармигир чор маротиба зиёд аст. Қадом ҳиссаи гармии аз гармидеҳ гирифтаашро газ ба гармигир медиҳад?

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 4 \cdot T_1 \\ \varpi = ? \end{array} \right|$$

Ҳал:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}; \varpi = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1}{4}.$$

Ҷавоб: 1/4

2.68. Гази идеалӣ тӯли сикли Карно, аз гармидеҳ миқдори гармии  $Q_1 = 4,2$  Ҷ-ро гирифта, кори  $A = 590$  Ҷ-ро иҷро мекунад. ККФ-и ҳароратии ин сикл ва температураи гармидеҳ назар ба температураи гармигир чанд маротиба калон буданаширо муайян кунед.

Маълумот:

$$\begin{array}{l} Q_1 = 4,2 \text{ Ҷ} \\ A = 590 \text{ Ҷ} \end{array}$$

$$\eta = ?$$

$$T_1/T_2 = ?$$

Ҳал:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\% = 14\%; \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}; \frac{T_2}{T_1} = \eta - 1; \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1 - \eta} = 1,16.$$

Ҷавоб: 14%,  $T_1 = 1,16 T_2$ .

2.69. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Кори ҳангоми изотермӣ васеъшавӣ иҷро кардаи газ  $A_1 = 5$  Ҷ. Кори ҳангоми изотермӣ фишурдан иҷрошударо муайян кунед, агар ККФ-и ҳароратии сикл  $\eta = 0,2$  бошад.

Маълумот:

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = 5 \text{ Дж} \\ \eta = 0,2 \\ A_2 = ? \end{array} \right|$$

Ҳал:  $T = \text{const}; Q = A_1$ ;  $A_1$ - кори изотермӣ васеъшавӣ;

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; Q_2 = (1 - \eta)Q_1; A_2\text{- кори изотермӣ фишурдан};$$

$$Q_2 = A_2 = (1 - \eta)Q_1 = 4 \text{ Ҷ}.$$

Ҷавоб: 4 Ҷ.

2.70. Ҳаҷми хурдтарини газе, ки сикли Карноро иҷро мекунад,  $V_1 = 153$  л аст. Ҳаҷми калонтарин  $V_3$ -ро муайян кунед, агар ҳаҷми  $V_2$  дар интиҳои васеъшавии изотермӣ ва ҳаҷми  $V_4$  дар интиҳои изотермӣ фишурдан мувофиқан ба 600 л ва 189 л баробар бошанд.

Маълумот:

$$\begin{array}{l} V_1 = 153 \text{ л} \\ V_2 = 600 \text{ л} \end{array}$$

$$V_4 = 189 \text{ л} \quad V_3 = ?$$

Ҳал:

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_3}{V_4}; \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}; V_3 = \frac{V_4 V_2}{V_1}.$$

Ҷавоб: 0,74 м<sup>3</sup>.

2.71. Оби массааш  $m_1 = 5$  кг-ро, ки температурааш  $T_1 = 280$  К аст бо оби массааш  $m_2 = 8$  кг, ки температурааш  $T_2 = 350$  К аст, якҷоя карданд.

1) Температураи омехта  $\theta$  ва 2) тағйироти энтропияро, ки ҳангоми омехтан ба амал меояд, ёбед.

Маълумот:  
 $C=4200 \text{ Ҷ/кг К}$   
 $m_1=5 \text{ кг}$   
 $T_1=280 \text{ К}$   
 $m_2=8 \text{ кг}$   
 $T_2=350 \text{ К}$   
 $\theta=?$   
 $\Delta S=?$

Ҳал: Аз муодилаи баланси гармӣ  
 $m_1c(\theta - T_1) = m_2c(T_2 - \theta), \theta(m_1 + m_2) = m_1T_1 + m_2T_2$

$$\theta = \frac{m_1T_1 + m_2T_2}{m_1 + m_2} = 323\text{К}, \Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 m_1c \frac{dT}{T} + \int_1^2 m_2c \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = m_1c \ln \frac{\theta}{T_1} + m_2c \ln \frac{\theta}{T_2}$$

$$\Delta S = 300 \text{ Ҷ/К.}$$

Ҷавоб: 323К, 0,3 кҶ/К.

2.72. Дар натиҷаи изохорӣ гарм кардани гидрогени массааш  $m=1 \text{ г}$  фишораш ду маротиба афзуд. Тағйироти энтропияи газ  $\Delta S$ -ро муайян намоед.

Маълумот: Ҳал:

$m=1 \text{ г}$   
 $P_2=2P_1$   
 $\Delta S=?$

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}; \text{ аз баски } V = \text{const}; Q = \frac{m}{M} C_v \Delta T; \Delta S = \int_1^2 \frac{m}{M} C_v \frac{dT}{T};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}; P_2 = 2P_1; \Delta S = \int_1^2 \frac{m}{M} C_v \ln \frac{P_2}{P_1}.$$

$$\Delta S = 7,2 \text{ Ҷ/К.}$$

Ҷавоб: 7,2 Ҷ/К.

2.73. Тағйироти энтропияро ҳангоми изобарӣ аз ҳаҷми 5 л то ҳаҷми 9 л ва сӯзшавии нитрогени массааш 4 г муқаррар намоед.

Маълумот:  
 $m=0,004 \text{ кг}$   
 $V_1=5 \text{ л}$   
 $V_2=9 \text{ л}$   
 $\Delta S=?$

Ҳал:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}; p = \text{const}; Q = \frac{m}{M} C_p \Delta T; \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1};$$

$$\Delta S = \frac{m}{M} C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{M} C_p \ln \frac{V_2}{V_1} = 2,45 \frac{\text{Ҷ}}{\text{К}}.$$

Ҷавоб: 2,45 Ҷ/К.

2.74. Пораи яхи массааш 200 г температурааш  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ -ро то  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  гарм карда гудохтанд, баъди он оби ҳосилшударо то  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  гарм карданд. Тағйирёбии пурраи энтропияро ёбед.

Маълумот:  
 $m=0,2 \text{ кг}$   
 $T_1=263 \text{ К}$   
 $T_2=273 \text{ К}$   
 $T_3=283 \text{ К}$   
 $\Delta S=?$

Ҳал:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}, \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

Дар ҳоли гарм кардани ях аз  $T_1$  то  $T_2$ :

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_2} m C_{\text{ях}} \frac{dT}{T} = m C_{\text{ях}} \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Мавриди обшавии ях бошад:

$$\Delta S_2 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T_2} = \frac{m\lambda}{T_2}.$$

Дар давоми гарм кардани об аз  $T_2$  то  $T_3$ :

$$\Delta S_3 = \int_{T_2}^{T_3} m C_{06} \frac{dT}{T} = m C_{06} \ln \frac{T_3}{T_2}.$$

$$\Delta S = m \left( C_{яx} \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{\lambda}{T_2} + C_{06} \ln \frac{T_3}{T_2} \right) = 291 \text{ Дж/К. Ҷавоб: } 291 \text{ Дж/К.}$$

2.75. Ҳаҷми оксигени массааш 2 кг-ро аввал изотермӣ 5 маротиба зиёд карданду бори дигар- адиабатӣ. Тағйироти энтропияро дар ҳар қадам протсес муайян намоед.

Маълумот:

Ҳал:

$m=2$  кг

1) протсеси изотермӣ:

$n=5$

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int \delta Q = \frac{Q}{T};$$

$\Delta S=?$

$$Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}; \Delta S = \frac{m}{M} R \ln 5,$$

2) протсеси адиабатӣ:  $\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T}, Q = 0, \Delta S = 0.$

Ҷавоб: 836 Дж/К, 0.

2.76. Гидрогени массааш 100 г-ро изобарӣ гарм карданд, ки ҳаҷмаш 3 маротиба афзуд, баъд изохорӣ чунон сард гардонданд, ки фишораш 3 маротиба кам шуд. Тағйироти пурраи энтропияро ёбед.

Маълумот:

Ҳал:

$m=0,1$  кг

$$\Delta S = \Delta S_B - \Delta S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}; P=\text{const}; \Delta Q = \frac{m}{M} C_P \Delta T;$$

$n=3$

$$\Delta S_B = \frac{m}{M} C_P \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{M} C_P \ln \frac{V_2}{V_1}; V=\text{const}; \Delta Q = \frac{m}{M} C_V \Delta T;$$

$\Delta S=?$

$$\Delta S_A = \frac{m}{M} C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{M} C_V \ln \frac{P_2}{P_1};$$

$$\Delta S = \frac{m}{M} \ln n (C_P - C_V) = \frac{m}{M} \ln n R$$

Ҷавоб: 457 Дж/К.

2.77. Ду балони ҳаҷмҳои  $V_1$  ва  $V_2$  –ро бо найчаи крандор пайвастанд, ки газҳои якхела доранд. Фишор дар зарфҳо мувофиқан  $P_1$  ва  $P_2$ . Тағйироти энтропияро баъди кушодани кран ва омехташавии газҳо муайян намоед. Система бо муҳити атроф мубодилаи гармӣ надорад. Температураи ибтидоӣ дар балон якандоза ва баробари  $T$  мебошад.

Ҳал: Дар модели гази идеалӣ энергияи дохилӣ танҳо ба температура вобаста аст. Азбаски система гармогузар ҳисоб меёбад, энергияи дохилӣ доимӣ мемонад. Якҷояшавӣ адиабатӣ ва бебозгашт ба вучуд меояд (протсеси баръакси тақсим гардидани молекулаҳо дар зарфҳо ба амал намеояд). Маълум аст, ки дар протсесҳои бебозгашт энтропия меафзояд. Аз ин сабаб, барои тағйироти энтропияро ҳисоб кардан якҷояшавии газҳоро ҳамчун ягон протсеси баргарданда ҳисобидан лозим меояд.

Дар мавриди муоинашаванда кранро ба поршен иваз кардан мумкин аст, ки дар температураи  $T$  баргарданда ҳаракат мекунад, то баробар шудани фишорҳо, чунки молекулаҳо байни ҳамдигар фарқ намекунанд.

Ҳангоми кранро ба поршен иваз кардан қонуни якумро чунин сабт кардан мумкин аст:

$$dU = TdS - pdV.$$

Доимӣ будани энергияи дохилӣ таносуби зеринро медиҳад:

$$(dS)_U = \frac{pdV}{T} = \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V}.$$

Тағйироти умумии энтропия  $\Delta S$  ба суммаи тағйироти  $\Delta S_1$  (дар баллони якум) ва  $\Delta S_2$  (дар баллони дуюм) баробар аст:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{P_1 V_1}{T_1} \ln \frac{V_1'}{V_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} \ln \frac{V_2'}{V_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \ln \frac{P_1}{P_1'} + \frac{P_2 V_2}{T_2} \ln \frac{P_1}{P_2'},$$

ин ҷо  $V_1'$  ва  $V_2'$  - ҳаҷмҳо баъди баробаршавии фишор мебошанд.

Таносубҳои зеринро истифода мебарем:

$$P_1 V_1 = P_1' V_1', \quad P_2 V_2 = P_2' V_2', \quad V_1 + V_2 = V_1' + V_2'.$$

Аз ин ҷо:

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

Тағйироти энтропия:

$$\Delta S = \frac{P_1 V_1}{T} \ln \frac{P_1 (V_1 + V_2)}{P_1 V_1 + P_2 V_2} + \frac{P_2 V_2}{T} \ln \frac{P_2 (V_1 + V_2)}{P_1 V_1 + P_2 V_2}$$

буданаш маълум мегардад.

**2.78.** Гази гидрогенро, ки дар шароити нормалӣ зарфи маҳками ҳаҷмаш  $V=0,5$  л-ро ишғол мекард, ба қадри  $\Delta T=55$  К сард гардонданд. Тағйироти энергияи дохилии газ ва миқдори гармии додаи газро ёбед.

Ҳал:  $Q = \Delta U + A$ ;  $V = \text{const}$   $A = 0$ ;  $Q = \Delta U = \frac{\nu R \Delta T}{\gamma - 1}$ ;  $P_0 V = \nu R T_0$ ;  $\nu R = \frac{P_0 V}{T_0}$

$Q = \Delta U = \frac{P_0 V \Delta T}{T_0 (\gamma - 1)} = -250$  Ҷ. Ҷавоб:  $Q = \Delta U = -250$  Ҷ.

**2.79.** Барои он ки гази нитроген изобарӣ кори  $A=2$  Ҷ-ро иҷро намояд, ба он чӣ қадар миқдори гармӣ додан лозим мешавад?

Ҳал:  $\Delta Q = \Delta U + A$ ;  $\Delta U = \frac{P \Delta V}{\gamma - 1} = \frac{A}{\gamma - 1}$ ;  $Q = \frac{A}{\gamma - 1} + A = \frac{\gamma A}{\gamma - 1} = 7$  Ҷ.  $\gamma=7/5$ .

Ҷавоб: 7 Ҷ.

**2.80.** Бузургии  $\gamma=C_p/C_v$ -ро барои омехтаи  $\nu_1=2$  мол оксиген ва  $\nu_2=3$  мол гази туршии карбон ҳисоб кунед. Омехтаро гази идеалӣ пиндоред.

Ҳал:  $\nu = \nu_1 + \nu_2$   $U = U_1 + U_2$   $\nu C_v = \nu_1 C_{v1} + \nu_2 C_{v2}$ ;

$$C_v = \frac{\nu_1 C_{v1} + \nu_2 C_{v2}}{\nu} = \frac{\left( \nu_1 \frac{R}{\gamma_1 - 1} + \nu_2 \frac{R}{\gamma_2 - 1} \right)}{\nu},$$

$$C_p = \frac{\nu_1 C_{p1} + \nu_2 C_{p2}}{\nu} = \frac{\left( \nu_1 \frac{\gamma_1 R}{\gamma_1 - 1} + \nu_2 \frac{\gamma_2 R}{\gamma_2 - 1} \right)}{\nu},$$



$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{(v_1 \frac{\gamma_1 R}{\gamma_1 - 1} + v_2 \frac{\gamma_2 R}{\gamma_2 - 1})}{(v_1 \frac{R}{\gamma_1 - 1} + v_2 \frac{R}{\gamma_2 - 1})} = \frac{v_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + v_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1)}{v_1 (\gamma_2 - 1) + v_2 (\gamma_1 - 1)} \quad \gamma_1 = \frac{i_1 + 2}{i_1} = 1,4 \quad \gamma_2 = \frac{i_2 + 2}{i_2} = 1,33$$

$\gamma = 1,355$ .      Ҷавоб: 1,355.

**2.81.** Суръати чоришавии гелиро аз сӯрохии хурди зарфи гарминигаҳдор ба вакуум муайян намоед. Дар ин шароит суръати сели газро дар зарф ниҳоят суст ҳисобед. Температураи гелий дар зарф  $T = 1000$  К мебошад.

Ҳал: Қонуни бақои энергияро бо дар назардошти муодилаи Бернуллӣ барои воҳиди масса чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{\vartheta^2}{2} + gz + u + Q = const$$

$Q = 0$ , чунки мубодилаи гармӣ нест.

$$U = \frac{C_V T}{M} = \frac{RT}{M(\gamma - 1)}; \quad \frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M}; \quad \vartheta \rightarrow 0, U \rightarrow 0, P \rightarrow 0$$

$$\frac{v^2}{2} = \frac{P}{\rho} + u = \frac{RT}{M} + \frac{RT}{M(\gamma - 1)} = \frac{\gamma RT}{M(\gamma - 1)}; \quad \vartheta = \sqrt{\frac{2\gamma RT}{M(\gamma - 1)}} = 3,22 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Ҷавоб: 3,22 км/с.

**2.82.** Ҳаҷми гази идеалии нишондиҳандаи адиабатааш  $\gamma$  мутобиқи қонуни  $V = a/T$  ( $a$ -доимӣ) тағйир меёбад. Агар температураи газ ба қадри  $\Delta T$  тағйир ёбад миқдори гармии қабулкардаи як мол газро муайян намоед.

$$\text{Ҳал: } PV = \nu RT, V = \frac{a}{T}, dA = PdV = \frac{\nu RT^2}{a} \left(-\frac{a}{T^2}\right) dT = -\nu R \Delta T.$$

$$A = - \int_T^{T+\Delta T} \nu R dT = -\nu R \Delta T; \quad Q = \Delta U + A = \frac{\nu R}{\gamma - 1} \Delta T - \nu R \Delta T = \nu R \Delta T \frac{2 - \gamma}{\gamma - 1}.$$

$$\text{Барои як мол газ } Q = R \Delta T \frac{2 - \gamma}{\gamma - 1}. \quad \text{Ҷавоб: } Q = R \Delta T \frac{2 - \gamma}{\gamma - 1}.$$

**2.83.** Исбот кунед, ки дар протсесе, ки қори гази идеалӣ ба тағйироти энергияи дохилиаш мутаносиб будан, муодилаи ҳолат  $PV^n = const$  ( $n$ -доимӣ) мешавад.

$$\text{Ҳал: } \delta A = a \Delta U; PdV = \frac{a \nu R dT}{\gamma - 1}; PV = \nu RT; PdV + VdP = \nu R dT.$$

$$PdV \left(\frac{a}{\gamma - 1} - 1\right) + \frac{a}{\gamma - 1} VdP = 0; k = a/(\gamma - 1); PdV(k - 1) + kVdP = 0; \frac{k - 1}{k} = n.$$

$$PdV \frac{k - 1}{k} + VdP = 0; n \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0; n \ln V + \ln P = \ln C; \ln(PV^n) = \ln C. PV^n = const.$$

**2.84.** Гармиғунҷоиши молии гази идеалиро дар протсеси политропӣ ( $PV^n = const$ ) муайян намоед, агар нишондиҳандаи адиабатаи газ  $\gamma$  бошад. Дар кадом бузургиҳои нишондиҳандаи политропа  $n$  гармиғунҷоиши газ манфӣ мешавад?

Ҳал: Қор дар протсеси политропӣ  $A = \frac{\nu R}{n - 1} (T_2 - T_1)$ ,  $T_1, T_2$ -мувофиқан температураҳои ибтидоӣ ва интиҳои газ мебошанд. Аз ин рӯ:

$$\Delta U = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1); \quad Q = \Delta U + A = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1) + \frac{\nu R}{n - 1} (T_2 - T_1);$$

$$Q = (T_2 - T_1) \nu R \left[ \frac{1}{\gamma - 1} - \frac{1}{n - 1} \right] = \frac{\nu R (n - \gamma)}{(n - 1)(\gamma - 1)} \Delta T. \quad \nu = 1 \text{ мол.}$$

$$C_n = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{R(n - \gamma)}{(n - 1)(\gamma - 1)}; \quad \text{Азбаски } \gamma > 1 \quad C_n < 0 \text{ агар } \frac{n - \gamma}{n - 1} < 0; \quad n < \gamma \quad n > 1.$$

Ҷавоб:  $C_n < 0$  агар  $1 < n < \gamma$  бошад.

**2.85.** Як мол аргонро бо политропаи нишондиҳандаш  $n=1,5$  васеъ карданд. Дар натиҷа температураи газ ба қадри  $\Delta T = -26$  К паст шуд. Миқдори гармии гирифтаи газ ва қори иҷрокардаи онро ёбед.

$$\text{Ҳал: } \Delta U = \frac{\nu R \Delta T}{\gamma - 1} = \frac{R \Delta T}{\gamma - 1} = -324 \text{ Љ. } \quad Q = \Delta U + A = \frac{R \Delta T}{\gamma - 1} - \frac{R \Delta T}{n - 1} = 110 \text{ Ҷ.}$$

$$A = -\frac{R \Delta T}{n - 1} = 434 \text{ Ҷ.} \quad \text{Ҷавоб: } Q = 110 \text{ Ҷ, } A = 434 \text{ Ҷ.}$$

**2.86.** Гази идеалиро, ки нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  аст мувофиқи қонуни  $P = aV$  ( $a$ -доимӣ) васеъ карданд. Ҳаҷми ибтидоии газ  $V_0$  буд. Дар натиҷаи васеъшавӣ ҳаҷм  $\eta$  маротиба афзуд. Муайян карда шавад: а) тағйироти энергияи дохилии газ; б) қори иҷрокардаи газ; в) гармиғунҷоиши молии газ дар ин протсес.

$$\text{Ҳал: } P = aV \quad PV^{-1} = a \quad n = -1 \quad P_1 = aV_0 \quad P_2 = a\eta V_0$$

$$\text{а) } \Delta U = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1) = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1} = \frac{a\eta^2 V_0^2 - aV_0^2}{\gamma - 1} = \frac{aV_0^2(\eta^2 - 1)}{\gamma - 1}$$

$$\text{б) } A = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n - 1} = \frac{aV_0^2(1 - \eta^2)}{-1 - 1} = \frac{aV_0^2(\eta^2 - 1)}{2}$$

$$\text{в) } C_n = \frac{R(n - \gamma)}{(n - 1)(\gamma - 1)} = \frac{R(-1 - \gamma)}{-2(\gamma - 1)} = \frac{R\gamma + 1}{2\gamma - 1}.$$

**2.87.** Фишори як мол гази идеалие, ки нишондиҳандаи адиабатааш  $\gamma$  аст мувофиқи қонуни  $P = aT^\alpha$  ( $a$  ва  $\alpha$ - доимианд) ба температура вобаста аст. Муайян карда шавад: а) қори иҷрокардаи газ барои тағйирдиҳии температура ба қадри  $\Delta T$ ; б) гармиғунҷоиши молӣ дар ин протсес. Дар қадом қимати  $\alpha$  гармиғунҷоиш манфӣ мешавад?

$$\text{Ҳал: } P = aT^\alpha \quad PT^{-\alpha} = a \quad P \left( \frac{PV}{R} \right)^{-\alpha} = a \quad P^{1 - \alpha} V^{-\alpha} = a R^{-\alpha} = \text{const}$$

$$n = \frac{\alpha}{\alpha - 1}$$

$$\text{а) } A = \frac{R \Delta T}{1 - n} = \frac{R \Delta T}{1 - \frac{\alpha}{\alpha - 1}} = R \Delta T (1 - \alpha);$$

$$\text{б) } C = \frac{R}{\gamma - 1} - \frac{R}{n - 1} = \frac{R}{\gamma - 1} - \frac{R}{\frac{\alpha}{\alpha - 1} - 1} = \frac{R}{\gamma - 1} + R(1 - \alpha);$$

$$C < 0 \quad \frac{1}{\gamma - 1} + (1 - \alpha) < 0 \quad \alpha < \frac{\gamma - 2}{\gamma - 1} \quad \alpha > \frac{\gamma}{\gamma - 1}.$$

**2.88.** Дар протсесе, ки дар гази идеалии нишондиҳандаи адиабатааш  $\gamma$  мегузарад, энергияи дохилӣ ба ҳаҷм мувофиқи қонуни  $U = aV^\alpha$  ( $a$  ва  $\alpha$ - доимӣ) вобаста аст. Муайян кунед: а) қори иҷрокардаи газ ва миқдори гармие, ки барои энергияи дохилиро ба  $\Delta U$  тағйир додан лозим аст, б) гармиғунҷоиши моли газро дар ин протсес.

Ҳал:  $U = aV^\alpha$ ;  $C_V \nu T = aV^\alpha$ ;  $\nu C_V \frac{PV}{\nu R} = aV^\alpha$ ;  $aV^\alpha \frac{R}{PV C_V} = 1$ ;  $V^{\alpha-1} P^{-1} = \frac{C_V}{\alpha R}$

$$PV^{1-\alpha} = \frac{R\alpha}{C_V} = \text{const}; C_V = \frac{R}{\gamma-1}; PV^{1-\alpha} = \alpha(\gamma-1); n = 1 - \alpha.$$

$$\text{a) } A = -\frac{\nu R \Delta T}{n-1}; \quad \Delta U = \frac{\nu R \Delta T}{\gamma-1}; \quad A = -\frac{\Delta U(\gamma-1)}{n-1} = \frac{\Delta U(\gamma-1)}{\alpha};$$

$$Q = \Delta U + A = \Delta U \left[ 1 + \frac{\gamma-1}{\alpha} \right].$$

$$\text{б) } C = \frac{R}{\gamma-1} - \frac{R}{n-1} = \frac{R}{\gamma-1} + \frac{R}{\alpha}.$$

2.89. Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_V$  аст. Гармиғунҷоиши моли ин газро ҳамчун функсияи ҳаҷми он  $V$  муайян намоед, агар протсеси иҷрокардаи газ мувофиқи қонунҳои зерин ба амал ояд: а)  $T = T_0 e^{\alpha V}$ ; б)  $P = P_0 e^{\alpha V}$ . Ин ҷо  $T_0$ ,  $P_0$  ва  $\alpha$  – доимӣҳоянд.

Ҳал: а)  $\delta Q = dU + \delta A = \nu C_V dT + P dV$

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{\nu C_V dT + P dV}{\nu dT} = \frac{\nu C_V dT + \frac{\nu RT}{V} dV}{\nu dT} \quad C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT} \quad T = T_0 e^{\alpha V}; \quad dT = \alpha T_0 e^{\alpha V} dV$$

$$\frac{dV}{dT} = \frac{1}{\alpha T_0 e^{\alpha V}} \quad C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{1}{\alpha T_0 e^{\alpha V}} = C_V + \frac{R}{\alpha V}.$$

$$\text{б) } P = P_0 e^{\alpha V} = \frac{RT}{V} \quad T = \frac{P_0 V e^{\alpha V}}{R} \quad C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT} = C_V + P \frac{dV}{dT}$$

$$dT = \frac{P_0}{R} (e^{\alpha V} + \alpha V e^{\alpha V}) dV \quad \frac{dV}{dT} = \frac{R}{P_0 e^{\alpha V} (1 + \alpha V)}$$

$$C = C_V + P_0 e^{\alpha V} \frac{R}{P_0 e^{\alpha V} (1 + \alpha V)} = C_V + \frac{R}{1 + \alpha V}.$$

2.90. Як мол гази идеалие, ки нишондиҳандаи адиабатааш  $\gamma$  аст, мувофиқи қонуни  $P = P_0 + a/V$  ( $a$  ва  $P_0$  – доимӣҳои мусбат) протсесеро иҷро мекунад. Муайян кунед: а) гармиғунҷоиши газро ҳамчун функсияи ҳаҷми он, б) тағйироти энергияи дохилии газ, қори иҷрокардаи он ва миқдори гармии гирифтаи газро, агар ҳаҷми он аз  $V_1$  то  $V_2$  афзуда бошад.

Ҳал: а)  $C = C_V + \frac{pdV}{T}$ ;  $P = P_0 + \frac{a}{V} = \frac{RT}{V}$ ;  $RT = P_0 V + a$ ;  $RdT = P_0 dV \quad \frac{dV}{dT} = \frac{R}{P_0}$ ;

$$C = C_V + \left( P_0 + \frac{a}{V} \right) \frac{R}{P_0} = \frac{R}{\gamma-1} + \left( 1 + \frac{a}{P_0 V} \right) R;$$

$$C = \left( R + \frac{R}{\gamma-1} \right) + \frac{aR}{P_0 V} = \frac{\gamma R}{\gamma-1} + \frac{aR}{P_0 V}.$$

$$\text{б) } A = \int_{V_1}^{V_2} \left( P_0 + \frac{a}{V} \right) dV = P_0 (V_2 - V_1) + a \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$\Delta U = C_V (T_2 - T_1) = C_V \left( \frac{P_2 V_2}{R} - \frac{P_1 V_1}{R} \right) = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma-1} = \frac{P_0 (V_2 - V_1)}{\gamma-1};$$

$$Q = \Delta U + A = P_0 (V_2 - V_1) + a \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{P_0 (V_2 - V_1)}{\gamma-1};$$

$$Q = a \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{\gamma P_0 (V_2 - V_1)}{\gamma-1}.$$

2.91. Як мол гази идеалие, ки гармиғунҷоишаш ҳангоми доимӣ будани фишор  $C_P$  аст, мувофиқи қонуни  $T = T_0 + aV$  ( $T_0$ ,  $a$  – доимӣҳоянд) протсесеро иҷро мекунад. Муайян намоед: а) гармиғунҷоиши газро ҳамчун функсияи

ҳаҷми он, б) миқдори гармии қабулкардаи газро, агар ҳаҷми он аз  $V_1$  то  $V_2$  афзуда бошад.

$$\text{Ҳал: а) } C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}; \quad T = T_0 + aV; \quad V = \frac{T}{a} - \frac{T_0}{a} \quad \frac{dV}{dT} = \frac{1}{a};$$

$$C = C_V + \frac{RT}{aV} = \frac{R}{\gamma-1} + \frac{R(T_0+aV)}{aV} = C_P + \frac{RT_0}{aV}.$$

$$\text{б) } T = T_0 + aV = \frac{PV}{R}; \quad P = \frac{R}{V}(T_0 + aV) = \frac{RT_0}{V} + aR;$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{RT_0}{V} + aR \right) dV = RT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} + aR(V_2 - V_1);$$

$$\Delta U = C_V(T_2 - T_1) = C_V(T_0 + aV_2 - T_0 - aV_1) = aC_V(V_2 - V_1);$$

$$Q = \Delta U + A = RT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} + aR(V_2 - V_1) + aC_V(V_2 - V_1);$$

$$Q = aR(V_2 - V_1) \left[ 1 + \frac{1}{\gamma-1} \right] + RT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} = aC_P(V_2 - V_1) + RT_0 \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

2.92. Муодилаи ҳолати гази идеалиро (дар тағйирёбандаҳои  $T, V$ ) муайян намоед, агар гармиғунҷоиши моли он мувофиқи қонунҳои зерин тағйир ёбад: а)  $C = C_V + \alpha T$ ; б)  $C = C_V + \beta V$ ; в)  $C = C_V + aP$ . Ин ҷо  $\alpha, \beta$  ва  $a$  доимӣҳоянд.

$$\text{Ҳал: } C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}.$$

$$\text{а) } C = C_V + \alpha T = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}; \quad \frac{\alpha dT}{R} = \frac{dV}{V}; \quad \frac{\alpha T}{R} = \ln V + \ln C_0 = \ln C_0 V;$$

$$VC_0 = e^{\frac{\alpha T}{R}}; \quad Ve^{-\frac{\alpha T}{R}} = \frac{1}{C_0} = \text{const.}$$

$$\text{б) } C = C_V + \beta V = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}; \quad \frac{dV}{V^2} = \frac{\beta dT}{R T}; \quad \frac{R}{\beta} \int \frac{dV}{V^2} = \int \frac{dT}{T}; \quad -\frac{R}{\beta V} = \ln T C_0;$$

$$Te^{-\frac{R}{\beta V}} = \frac{1}{C_0} = \text{const.}$$

$$\text{в) } C = C_V + aP; \quad C = C_V + \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT} = C_V + aP; \quad aP = \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}; \quad a \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT}; \quad \frac{dV}{dT} = a;$$

$$dV = a dT; \quad dT = \frac{dV}{a}; \quad T = \frac{V}{a} + \text{const}; \quad V - aT = \text{const.}$$

2.93. Нишондиҳандаи адиабатаи газ  $\gamma$ . Дар ягон протсесс гармиғунҷоиши ин газ мувофиқи қонуни  $C = \alpha/T$  ( $\alpha$ - доимӣ) тағйир меёбад. Муқаррар созед: а) кори иҷрокардаи як мол газ ҳангоми гармкунии он аз температураи  $T_0$  то температураи  $\eta$  маротиба зиёд; б) муодилаи протсессро дар параметрҳои  $P, V$ .

$$\text{Ҳал: а) } A = Q - \Delta U = CdT - C_V dT = (C - C_V)dT; \quad A = \int_{T_0}^{\eta T_0} \left( \frac{\alpha}{T} - C_V \right) dT;$$

$$A = \alpha \ln \frac{\eta T_0}{T_0} - C_V(\eta T_0 - T_0) = \alpha \ln \eta - C_V T_0(\eta - 1) = \alpha \ln \eta - \frac{RT}{\gamma - 1}(\eta - 1).$$

$$\text{б) } C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT} + C_V; \quad \frac{RT}{V} \frac{dV}{dT} + C_V = \frac{\alpha}{T}; \quad \frac{R}{\gamma-1} \frac{dT}{RT} + \frac{dV}{V} = \frac{\alpha dT}{RT^2}; \quad \frac{dV}{V} = \frac{\alpha dT}{RT^2} - \frac{1}{\gamma-1} \frac{dT}{T};$$

$$(\gamma - 1) \frac{dV}{V} = \frac{\alpha(\gamma - 1)}{RT^2} dT - \frac{dT}{T}; \quad (\gamma - 1) \ln V = -\frac{\alpha(\gamma - 1)}{RT} - \ln T + \ln k;$$

$$\ln V^{\gamma-1} \frac{T}{k} = -\frac{\alpha(\gamma-1)}{RT}; \quad \ln V^{\gamma-1} \frac{PV}{Rk} = -\frac{\alpha(\gamma-1)}{PV}; \quad \frac{PV^\gamma}{kR} = e^{-\alpha \frac{\gamma-1}{PV}};$$

$$PV^\gamma e^{-\alpha \frac{\gamma-1}{PV}} = kR = \text{const.}$$

2.94. Адади дараҷаи озоди молекулаи газеро муайян намоед, ки гармигунҷоиши молиаш: а) дар фишори доимӣ  $C_P=29$  Ҷ/(мол К); б) дар протсеси  $PT=\text{const}$   $C=29$  Ҷ/мол К бошад.

Ҳал: а)  $C_V = C_P - R = 20,7 \frac{\text{J}}{\text{мол}} \text{K}$ ;  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4 = \frac{7}{5}$ ;  $i = 5$ .

б)  $PT = \text{const}, \frac{T^2}{V} = \text{const}; 2 \frac{dT}{T} - \frac{dV}{V} = 0; CdT = C_V dT + PdV = C_V dT + \frac{RT}{V} dV;$   
 $C = C_V + 2R = \frac{29R}{8,31}; C_V = \frac{3}{2}R; i = 3.$       Ҷавоб: а)5, б)3.

2.95. Дар кадом маврид ККФ-и сикли Карно бештар зиёд мешавад: ҳангоми афзудани температураи гармидеҳ ба қадри  $\Delta T$  ё ки ҳангоми пастшавии температураи гармигир ба ҳамон бузургӣ?

Ҳал:  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; T_1 > T_2; \eta_1 = \frac{T_1 + \Delta T - T_2}{T_1 + \Delta T} = 1 - \frac{T_2}{T_1 + \Delta T}; \eta_2 = \frac{T_1 - T_2 - \Delta T}{T_1} = 1 - \frac{T_2 - \Delta T}{T_1};$   
 $\eta_2 < \eta_1.$

2.96. Гидроген сикли Карноро иҷро мекунад. ККФ сиклро муайян намоед, агар ҳангоми васеъшавӣ: а) ҳаҷми газ 2 маротиба меафзояд; б) фишори газ 2 маротиба паст мешавад.

Ҳал: Барои гидроген  $\gamma = 1,4$ .

$$P_1 V_1 = P_2 V_2; P_3 V_3 = P_4 V_4; P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma; P_1 V_1^\gamma = P_4 V_4^\gamma; V_3 = n V_2;$$

$$P_3 = P_2 n^{-\gamma}; P_3 V_3 = P_4 V_4 = P_1 V_1 n^{1-\gamma} = P_2 V_2 n^{1-\gamma}; V_4^{1-\gamma} = V_1^{1-\gamma} n^{1-\gamma};$$

$$V_4 = n V_1; Q_1^+ = P_2 V_2 \ln \frac{V_2}{V_1}; Q_2^- = P_3 V_3 \ln \frac{V_3}{V_4} n^{1-\gamma} = Q_1^+ = P_2 V_2 \ln \frac{V_3}{V_4};$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - n^{1-\gamma} = 0,242.$$

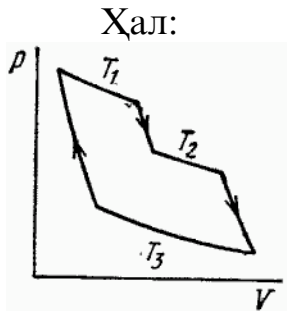
б)  $P_3 = \frac{P_2}{n}; P_2 V_2^\gamma = \frac{P_2}{n} V_3^\gamma; V_3 = n^{\frac{1}{\gamma}} V_2; \eta = 1 - n^{\frac{1}{\gamma}-1} = 1 - n^{-0,286} = 0,18.$

2.97. Мошини ҳароратиеро, ки аз рӯи сикли Карно бо ККФ-и  $\eta = 10\%$  кор мекунад, дар ҳамон шароит (гармидеҳу гармигираш) ҳамчун мошини сардгардон истифода мебаранд. Коэффисиенти сардгардонии он ( $\varepsilon$ )-ро муайян намоед.

Ҳал:  $\varepsilon = \frac{Q_2'}{A} = \frac{Q_2'}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_2'/Q_1}{1 - \frac{Q_2'}{Q_1}} = \frac{1-\eta}{\eta} = 9.$

2.98. Гази идеалӣ сиклро, ки аз изотерм ва адиабати пайдарпай буда иборат аст, иҷро мекунад. Температураҳое, ки протсеси изотермӣ мегузарад:  $T_1, T_2$  ва  $T_3$ . Коэффисиенти кори фоиданоки ин сиклро муайян намоед,

агар дар ҳама ҳолатҳои изотермӣ васеъшавии ҳаҷми газ маротибҳои баробар тағйир ёбад.



$$V_2 = nV_1, \quad V_4 = nV_3; \quad V_5 = nV_6, \quad Q_1 = RT_1 \ln n + RT_2 \ln n = R(T_1 + T_2) \ln n.$$

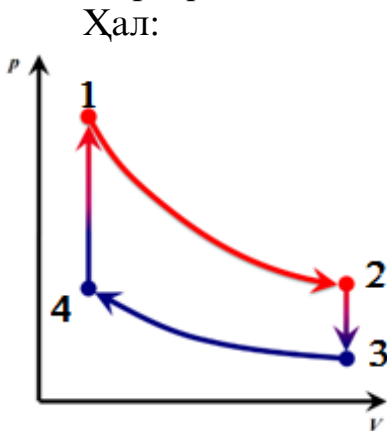
$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}; \quad V_3 = V_2 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}};$$

$$V_5 = V_4 \left( \frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}; \quad V_6 = V_1 \left( \frac{T_1}{T_3} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}};$$

$$Q_2 = RT_3 \ln \frac{V_6}{V_5} = -RT_3 \frac{V_1}{V_4} \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = -RT_3 \frac{1}{n^2} \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{-\frac{1}{\gamma-1}} = 2RT_3 \ln n.$$

$$\eta = 1 - \frac{2T_3}{T_1 + T_2}.$$

2.99. Коэффициенти кори фойданоки сиклери, ки аз ду изохор ва ду адиабат иборат аст, муайян намоед, агар дар ҳудуди сикл ҳаҷми газ 10 маротиба тағйир ёфта бошад. Моддаи корӣ нитроген аст.

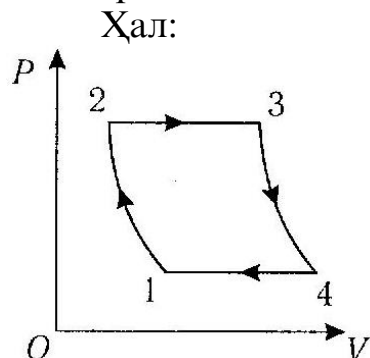


$$Q^- = C_V(T_2 - T_3) = \frac{C_V}{R} V_2(P_2 - P_3); \quad Q^+ = \frac{C_V}{R} V_1(P_1 - P_4);$$

$$\eta = 1 - \frac{V_2(P_2 - P_3)}{V_1(P_1 - P_4)}; \quad P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma; \quad P_3 V_2^\gamma = P_4 V_1^\gamma; \quad V_2 = nV_1;$$

$$P_1 = P_2 n^\gamma; \quad P_3 n^\gamma = P_4; \quad \eta = 1 - n^{1-\gamma}; \quad \gamma = 1,4 \text{ барои нитроген}; \quad \eta = 0,602.$$

2.100. ККФ-и сиклери, ки аз ду изобар ва ду адиабат иборат аст, муайян намоед, агар дар ҳудуди сикл фишор  $n$  маротиба тағйир ёфта бошад. Моддаи корӣ гази идеалии нишондиҳандаи адиабаташ  $\gamma$  аст.



$$Q^+ = \frac{C_P}{R} P_1(V_2 - V_1); \quad Q^- = \frac{C_P}{R} P_2(V_4 - V_3);$$

$$\eta = 1 - \frac{P_2(V_4 - V_3)}{P_1(V_2 - V_1)};$$

$$P_1 = nP_2; \quad P_1 V_2^\gamma = P_2 V_3^\gamma;$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_4^\gamma;$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4};$$

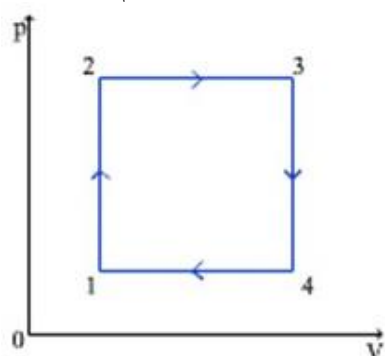
$$nV_2^\gamma = V_3^\gamma, \quad n^{1/\gamma} V_2 = V_3; \quad nV_1^\gamma = V_4^\gamma; \quad n^{1/\gamma} V_1 = V_4;$$

$$V_3 - V_4 = n^{1/\gamma}(V_2 - V_1);$$

$$\eta = 1 - \frac{n^{1/\gamma}}{n} = 1 - n^{\frac{1}{\gamma}-1}.$$

2.101. Гази идеалие, ки нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  аст, сикли аз ду изохор ва ду изобар иборатбударо иҷро мекунад. ККФ-и ин сикл ёфта шавад, агар температураи мутлақ ҳам ҳангоми изохорӣ гарм кардан ва ҳам ҳангоми изобари васеъгардонӣ  $n$  маротиба афзояд.

Ҳал:



$$P_1 = nP_2; \quad V_2 = nV_1;$$

$$Q^+ = Q_1^+ + Q_2^+;$$

$$Q_1^+ = C_P(n-1)T_1;$$

$$Q_2^+ = C_V\left(1 - \frac{1}{n}\right)T_1;$$

$$Q^- = Q_1^- + Q_2^-;$$

$$Q_1^- = C_V(n-1)T_1;$$

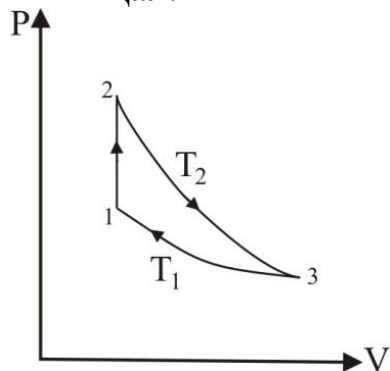
$$Q_2^- = C_P\left(1 - \frac{1}{n}\right)T_1;$$

$$\eta = 1 - \frac{Q^-}{Q^+} = 1 - \frac{C_V(n-1) + C_P\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{C_P(n-1) + C_V\left(1 - \frac{1}{n}\right)}; \quad \eta = 1 - \frac{(n-1) + \gamma\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{\gamma(n-1) + \left(1 - \frac{1}{n}\right)};$$

$$\eta = 1 - \frac{1 + \frac{\gamma}{n}}{\gamma + \frac{1}{n}} = 1 - \frac{n + \gamma}{1 + n\gamma}.$$

2.102. Сикли иҷромекардаи гази идеалӣ аз: а) изохор, адиабат ва изотерм; б) изобар, адиабат ва изотерм иборат аст. Протсеси изотермӣ дар температураи пасттарини сикл мегузарад. ККФ-и ҳар як сиклро муайян намоед, агар температураи мутлақ дар ҳудуди сикл  $n$  маротиба тағйир ёбад.

Ҳал:

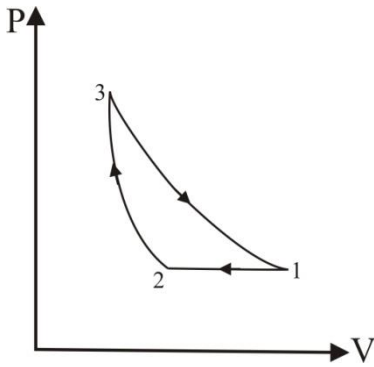


$$а) P_2 = nP_1 \quad P_1V_1 = P_0V_0; nP_1V_1^\gamma = P_0V_0^\gamma;$$

$$Q^- = RT_0 \ln \frac{V_0}{V_1}; \quad Q^+ = C_V T_0 (n-1);$$

$$nV_1^{\gamma-1} = V_0^{\gamma-1}; \quad V_1 = V_0 n^{-\frac{1}{\gamma-1}};$$

$$Q^- = \frac{RT_0 \ln n}{\gamma-1}; \quad \eta = 1 - \frac{\ln n}{n-1}.$$



$$\text{б) } V_2 = nV_1; P_1V_1 = P_0V_0; P_1(nV_1)^\gamma = P_0V_0^\gamma;$$

$$n^\gamma V_1^{\gamma-1} = V_0^{\gamma-1}; V_1 = V_0 n^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}};$$

$$Q^- = RT_0 \ln \frac{V_0}{V_1};$$

$$Q^- = RT_0 \ln n^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{\gamma R}{\gamma-1} T_0 \ln n = C_p T_0 \ln n;$$

$$Q^+ = C_p T_0 (n-1);$$

$$\eta = 1 - \frac{\ln n}{n-1}.$$

2.103. Нобаробари Клаузиусро истифода бурда исбот кунед, ки ККФ-и ҳамаи сиклҳои, ки температураҳои максималишон  $T_{\max}$  ва температураи минималишон  $T_{\min}$  ба ҳамдигар баробаранд, назар ба ККФ-и сикли Карно барои  $T_{\max}$  ва  $T_{\min}$  кам аст.

$$\text{Ҳал: } \int \frac{\delta Q^+}{T_{\max}} - \int \frac{\delta Q^-}{T_{\min}} < 0; \frac{Q^+}{T_{\max}} < \frac{Q^-}{T_{\min}}; \frac{T_{\min}}{T_{\max}} < \frac{Q^-}{Q^+};$$

$$\eta = 1 - \frac{Q^-}{Q^+} < 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = \eta_K.$$

2.104. Бо ёрии теоремаи Карно нишон диҳед, ки барои моддаҳои якҷинсаи физикавӣ, ки ҳолаташон бо параметрҳои  $T$  ва  $V$  тавсиф меёбад,  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P$ , ин ҷо  $U(T, V)$ -энергияи дохилии модда. Нишондод: сикли ниҳоӣ хурди Карно дар диаграммаи  $P, V$  истифода баред.

Ҳал:

$$\frac{\delta A}{\delta Q^+} = \frac{dT}{T}; \delta A = dPdV = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dTdV; \delta Q^+ = dU + PdV = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right] dV;$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V.$$

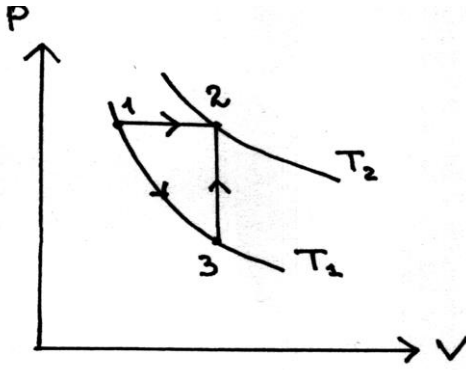
2.105. Оксигени массааш  $m$ -ро аз температураи  $T_1$  то температураи  $T_2$  гарм мекунад. Агар фишорҳои ҳолатҳои ибтидоӣ ва интиҳӣ баробар бошанд, тағйироти энтропияи газ чӣ қадар мешавад?

Ҳал: Тағйироти энтропия барои протсеси баргарданда:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

мебошад ва аз характери протсес вобаста нест (аз роҳи гузариш). Аз ин рӯ, барои ёфтани тағйироти энтропия муоинаи ҳолати ибтидоӣ ва интиҳӣ кифоя аст.





Дар мавриди додашуда аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 бо воситаи гузаришҳои баргардандаи 1→2 (протсеси изобарӣ) ё ки 1-3-2 (протсеси изотермия баъд изохорӣ гармкунӣ) сурат гирифта метавонад. Қонуни якуми термодинамикаро бо истифодаи энтропия чун  $dQ = dU + pdV = TdS$  пешниҳод кардан раво аст.

Дар гази идеалӣ:

$$U = C_V T.$$

Ҳамин тавр барои гузариши изобарӣ аз ҳолати 1 ба 2:

$$(dQ)_P = \frac{m}{\mu} C_P dT;$$

$$\Delta S_{12} = \frac{m}{\mu} C_P \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_P \ln \frac{T_2}{T_1}$$

мешаванд. Барои гузариши 1→3→2 ифодаҳои зерин ҷой доранд:

$$\Delta S_{123} = \Delta S_{13} + \Delta S_{32}$$

$$\Delta S_{13} = (dS)_T = \frac{pdV}{T} = \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V};$$

$$\Delta S_{13} = \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$dS_{32} = (dS)_V = \frac{m}{\mu} C_V \frac{dT}{T};$$

$$\Delta S_{32} = \frac{m}{\mu} C_V \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

$$\text{Азбаски } p_1 = p_2, \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{мешавад ва } \Delta S_{123} = \frac{m}{\mu} (C_V + R) \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{\mu} C_P \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

**2.106.** Тағйироти энтропияи як мол гази туршии карбонро ҳангоми ду маротиба баланд шудани температураи он муайян намоед, агар протсеси гармкунӣ: а) изохорӣ; б) изобарӣ гузарад.

Гази идеалӣ ҳисобед.

$$\text{Ҳал: а) } \Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V dT}{T} = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = C_V \ln n = \frac{R \ln n}{\gamma - 1}; \quad \gamma = 1,3; \quad \Delta S = 19,2 \text{ Ҷ/(мол К)}.$$

$$\text{б) } \Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P dT}{T} = C_P \ln \frac{T_2}{T_1} = C_P \ln n = \frac{\gamma R \ln n}{\gamma - 1}; \quad \Delta S = 25 \text{ Ҷ/(мол К)}.$$

**2.107.** Барои он ки энтропияи 4 мол гази идеалӣ ба қадри 23 Ҷ/К тағйир ёбад, ҳаҷми онро изотермӣ чанд маротиба васеъ қадан лозим меояд?

$$\text{Ҳал: } \Delta S_T = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu R \ln n; \quad n = e^{\frac{\Delta S_T}{\nu R}} = 2.$$

**2.108.** Гелии массааш 1,7 г-ро адиабатӣ 3 маротиба васеътар қарданд, баъд изобарӣ то ҳаҷми аввала фишурданд. Тағйироти энтропияи гази дар ин протсес муайян намоед.

$$\text{Ҳал: } \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2; \quad \Delta S_1 = 0; \quad \Delta S = \Delta S_2; \quad n = \frac{V_1}{V_0} = 3; \quad \Delta S = \nu C_P \ln \frac{V_0}{V};$$

$$\Delta S = -\frac{m}{M} C_P \ln n = -\frac{m}{M} \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \ln n = -9,71 \text{ Ҷ/К}.$$

2.109. Тағйироти энтропияи 2 мол гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$ -ро муайян намоед, агар дар натиҷаи ягон протсес ҳаҷмаш  $\alpha=2$  маротиба зиёд ва фишораш  $\beta=3$  маротиба кам шуда бошад.

$$\text{Ҳал: } \Delta S = \nu C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}; \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}; \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1}; \Delta S = \nu C_V \ln \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$\Delta S = \nu C_V \ln \frac{\alpha}{\beta} + \nu R \ln \alpha = \nu (C_V + R) \ln \alpha - \nu C_V \ln \beta; C_P = \gamma C_V;$$

$$\Delta S = \nu \gamma C_V \ln \alpha - \nu C_V \ln \beta = (\gamma \ln \alpha - \ln \beta) \frac{\nu R}{\gamma - 1} = -11 \text{ Ҷ/К.}$$

2.110. Гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  мутобиқи қонуни  $P = P_0 - \alpha V$  протсесеро иҷро мекунад ( $P_0$  ва  $\alpha$  – доимииҳои мусбатанд). Дар кадом бузургии ҳаҷм энтропияи газ максималӣ мешавад?

Ҳал:

$$\Delta S = C_V \ln \frac{P}{P_0} + C_P \ln \frac{V}{V_1} = C_V \ln \frac{P_0 - \alpha V}{P_0} + C_P \ln \frac{V}{V_1};$$

$$\frac{\delta \Delta S}{\delta V} = -\frac{\alpha C_V}{P_0 - \alpha V} + \frac{C_P}{V} = 0;$$

$$\alpha V C_V = C_P (P_0 - \alpha V); \gamma C_V = C_P; \alpha V + \gamma \alpha V = \gamma P_0;$$

$$V = V_m = \frac{\gamma P_0}{\alpha(\gamma + 1)}; \frac{\partial^2 \Delta S}{\partial V^2} < 0.$$

2.111. Як мол гази идеалии протсесеро иҷро менамояд, ки дар он энтропияи газ вобаста ба температура мувофиқи қонуни  $S = aT + C_V \ln T$  тағйир меёбад, ин ҷо – доимии мусбат,  $C_V$  – гармиғунҷоиши моли ин газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм мебошанд. Вобастагии температураи газро ба ҳаҷми он дар ин протсес муайян намоед, агар ҳангоми  $V=V_0$  будан температура тағйир наёбад ( $T=T_0$ ).

$$\text{Ҳал: } C = T \frac{dS}{dT} = aT + C_V; \delta Q = CdT = C_V dT + PdV; PdV = RT \frac{dV}{V} = (C - C_V) dT; \frac{R}{a} \frac{dV}{V} = dT; \frac{R}{a} \ln V + \text{const} = T; T = T_0 + \frac{R}{a} \ln \frac{V}{V_0}.$$

2.112. Тағйироти энтропияро ҳангоми 10 г яхи температурааш  $-20^\circ\text{C}$  ба буғи температурааш  $100^\circ\text{C}$  табдил ёфтани муайян намоед.

Ҳал: Тағйироти энтропия ҳангоми гузариши модда аз ҳолати 1 ба ҳолати 2:  $\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$  мебошад. Ҳангоми гузариш аз як ҳолати агрегатӣ ба дигараш тағйироти умумии энтропия аз ҷамъи тағйиротҳо дар протсесҳои алоҳида иборат аст. Ҳангоми яхро аз  $T$  то  $T_0$  гарм кардан тағйироти энтропия чунин аст:

$$\Delta S_1 = \int_T^{T_0} \frac{mc_{\text{ях}} dT}{T} = mc_{\text{ях}} \ln \frac{T_0}{T}.$$

Гармиғунҷоиши ях  $c_{\text{ях}} = 2100 \text{ Ҷ}/(\text{кг К})$ . Ҳангоми обшавии ях:  $\Delta S_2 = \frac{m\lambda}{T_0}$ .  $\lambda = 0,33 \text{ МҶ}/\text{кг}$ -гармии хоси гудозиши ях. Ҳангоми гармкунии об аз температураи  $T_0$  то температураи чушиш  $T_{\text{буғ}}$ :

$$\Delta S_3 = \int_{T_0}^{T_{\text{буғ}}} \frac{mc_{\text{об}}dT}{T} = mc_{\text{об}} \ln \frac{T_{\text{буғ}}}{T_0}; \quad c_{\text{об}} = 4,19 \text{ кҶ}/(\text{кг К}) \text{ аст.}$$

Тағйироти энтропия ҳангоми дар температураи чушиш буғ кардани об:

$$\Delta S_4 = \frac{mr}{T_6}.$$

Дар ин ҷо  $r=2,26 \text{ МҶ}/\text{кг}$ -гармии хоси буғгардонӣ аст. Тағйироти умумии энтропия:

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = \Delta S;$$

$$\Delta S = mc_{\text{ях}} \ln \frac{T_0}{T} + \frac{m\lambda}{T_0} + mc_{\text{об}} \ln \frac{T_6}{T_0} + \frac{mr}{T_6} = 88 \text{ Ҷ}/\text{кг}. \quad \text{Ҷавоб: } 88 \text{ Ҷ}/\text{К}.$$

2.113. Ҳаҷми хусусии газе дар шароити нормалӣ  $0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$  мебошад. Кадом газ будан ва гармиғунҷоишҳои  $c_V$  ва  $c_P$ -ро муайян намоед.

Маълумот:

$$\vartheta = 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$T=273 \text{ К}$$

$$P=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$c_V=? \quad c_P=?$$

$$\text{Ҳал: } \vartheta = \frac{V}{m}, PV = \frac{m}{M} RT, M = \frac{RT}{P\vartheta}, i = 5;$$

$$c_V = \frac{i R}{2 M}; c_P = \frac{i + 2 R}{2 M}.$$

$$\text{Ҷавоб: оксиген; } c_V=649 \text{ Ҷ}/(\text{кг К}); c_P=909 \text{ Ҷ}/(\text{кг К}).$$

2.114. Ҳангоми адиабатӣ васеъ кардани 2 мол оксигени дар шароити нормалӣ буда, ҳаҷми он 3 маротиба афзуд. Муайян намоед: а) тағйирёбии энергияи дохилии газ ва б) кори васеъшавии онро.

Маълумот:

$$\nu=2 \text{ мол}$$

$$T_1=273 \text{ К}$$

$$V_2=\nu V_1$$

$$n=3$$

$$\Delta U=?$$

$$A=?$$

$$\text{Ҳал: } Q = \Delta U + A, Q = 0, \Delta U = -A, \Delta U = \nu c_V \Delta T, c_V = \frac{i}{2} R$$

$$i = 5, T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \gamma = \frac{i+2}{2} = \frac{7}{5}, T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$\Delta U = \nu \frac{i}{2} R (T_2 - T_1) = \nu \frac{i}{2} R T_1 \left( \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right); A = -\Delta U.$$

$$\text{Ҷавоб: } \Delta U = -4,03 \text{ кҶ}, A = 4,03 \text{ кҶ}.$$

### Супориши инфродӣ

Тағйироти энергияи дохилӣ, кори иҷрокардаи газ ва миқдори гармии ба газ додашударо дар протсесҳое, ки нишон додашудаанд муқаррар созед.

1. нитроген изотермӣ $P_1= 100$ кПа $V_1=1$ л $V_2= 2V_1$	2. оксиген изобарӣ $P_1= 200$ кПа $V_1=2$ л $V_2= 5V_1$	3. гидроген изохорӣ $P_1= 300$ кПа $V_1=3$ л $P_2= 4P_1$	4. гелий адиабатӣ $P_1= 400$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 5V_1$	5. Аргон изохорӣ $P_1= 150$ кПа $V_1=5$ л $P_2= 3P_1$	6. неон адиабатӣ $P_1= 300$ кПа $V_1=6$ л $V_2= 5V_1$
7. неон изотермӣ $P_1= 10$ кПа $V_1=5$ л $V_2= 3V_1$	8. аргон изобарӣ $P_1= 20$ кПа $V_1=6$ л $V_2= 6V_1$	9. нитроген изохорӣ $P_1= 30$ кПа $V_1=7$ л $P_2= 3P_1$	10. оксиген адиабатӣ $P_1= 40$ кПа $V_1=8$ л $V_2= 6V_1$	11. метан изобарӣ $P_1= 80$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 9V_1$	12.этан изотермӣ $P_1= 120$ кПа $V_1=3$ л $V_2= 2V_1$
13.гидроген изотермӣ $P_1= 1$ кПа $V_1=7$ л $V_2= 4V_1$	14. гелий изобарӣ $P_1= 2$ кПа $V_1=6$ л $V_2= 4V_1$	15. неон изохорӣ $P_1= 3$ кПа $V_1=5$ л $P_2= 2P_1$	16. аргон адиабатӣ $P_1= 4$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 4V_1$	17.Хлор изохорӣ $P_1= 6$ кПа $V_1=3$ л $P_2= 3P_1$	18. Гидроген изобарӣ $P_1= 8$ кПа $V_1=2$ л $V_2= 4V_1$
19. нитроген изотермӣ $P_1= 5$ кПа $V_1=3$ л $V_2= 5V_1$	20. хлор изобарӣ $P_1= 6$ кПа $V_1=2$ л $V_2= 3V_1$	21. гидроген изохорӣ $P_1= 7$ кПа $V_1=1$ л $P_2= 6P_1$	22. гелий изотермӣ $P_1= 8$ кПа $V_1=2$ л $V_2= 3V_1$	23.Гелий изохорӣ $P_1= 9$ кПа $V_1=3$ л $P_2= 6P_1$	24.Аргон изотермӣ $P_1= 12$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 3V_1$
25. неон изотермӣ $P_1= 9$ кПа $V_1=3$ л $V_2= 6V_1$	26. аргон изобарӣ $P_1= 10$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 2V_1$	27. нитроген изохорӣ $P_1= 11$ кПа $V_1=5$ л $P_2= 5P_1$	28. оксиген адиабатӣ $P_1= 12$ кПа $V_1=6$ л $V_2= 2V_1$	29.Этан изохорӣ $P_1= 15$ кПа $V_1=5$ л $P_2= 3P_1$	30.Метан изотермӣ $P_1= 1$ кПа $V_1=2$ л $V_2= 10V_1$
31. ксенон изотермӣ $P_2= 20$ кПа $V_1=1,5$ л $V_2= 6V_1$	32. ҳаво адиабатӣ $P_1=100$ кПа $V_1=2$ л $V_2=3 V_1$	33. оксиген изохорӣ $P_1= 100$ кПа $V_1=1$ л $P_2= 5P_1$	34. неон изобарӣ $P_1= 100$ кПа $V_1=40$ л $V_2= 1,5V_1$	35. Пропан изотермӣ $P_1=100$ кПа $V_1=20$ л $V_2= 2,5V_1$	36.Этан изобарӣ $P_1=150$ кПа $V_1=10$ л $V_2= 5,5 V_1$
37.Метан изохорӣ $P_1= 50$ кПа $V_1=9$ л $V_2= 2V_1$	38.Пропан изобарӣ $P_1= 115$ кПа $V_1=30$ л $V_2= 3V_1$	39.Ҳаво изотермӣ $P_1= 100$ кПа $V_1=8$ л $V_2= 1,5V_1$	40. Оксиген изотермӣ $P_1= 55$ кПа $V_1=5$ л $V_2= 4V_1$	41.Озон адиабатӣ $P_1= 60$ кПа $V_1=12$ л $V_2= 2,5V_1$	42.CO <sub>2</sub> изобарӣ $P_1= 80$ кПа $V_1=4$ л $V_2= 6V_1$

## Боби III ГАЗҲОИ РЕАЛӢ ВА МОЕЪҲО

### 3.1 Хосиятҳои термодинамикии газҳои реалӣ

Муодилаи ҳолат вобастагии функционалии байни фишор, ҳаҷм, температура ва миқдори моддаи газро дар ҳолати мувозинатӣ муқаррар менамояд. Ин робита на танҳо дар намуди муодила, балки дар намуди ҷадвал ё графикӣ низ ифода шуданаш мумкин аст, ки аксар вақт дар амал истифода мебаранд. Барои газҳои идеалӣ ин вобастагиро муодилаи Клапейрон - Менделеев ифода менамояд. Газҳои реалро бо ин муодила тақрибан ифода намудан мумкин аст ва дар фишорҳои баланд ва температураҳои паст, хусусан дар наздикии ҳолати конденсатсияшавӣ майл аз муодилаи гази идеалӣ ҳамон қадар зиёд мешавад. Барои газҳои температураи моеъшавиашон паст ( $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$  ва ҳатто  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) дар фишорҳои то 10 атм фарқият аз 2% ва барои фишорҳои то 50 атм аз 5% зиёд нест. Дар газҳои конденсатсияшавиашон осон ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) алақай дар фишори 1 атм то 2-3% фарқият мушоҳида мешавад.

Яке аз тавсифҳои аёнии майли газҳои реалӣ аз идеалӣ ҳаҷми молии газ мебошад. Дар ҷадвали 3.1 барои баъзе газҳои реалӣ бузургии ҳаҷми як мол газ дар шароити нормалӣ (барои гази идеалӣ 22,414 л мол<sup>-1</sup>) оварда шудааст.

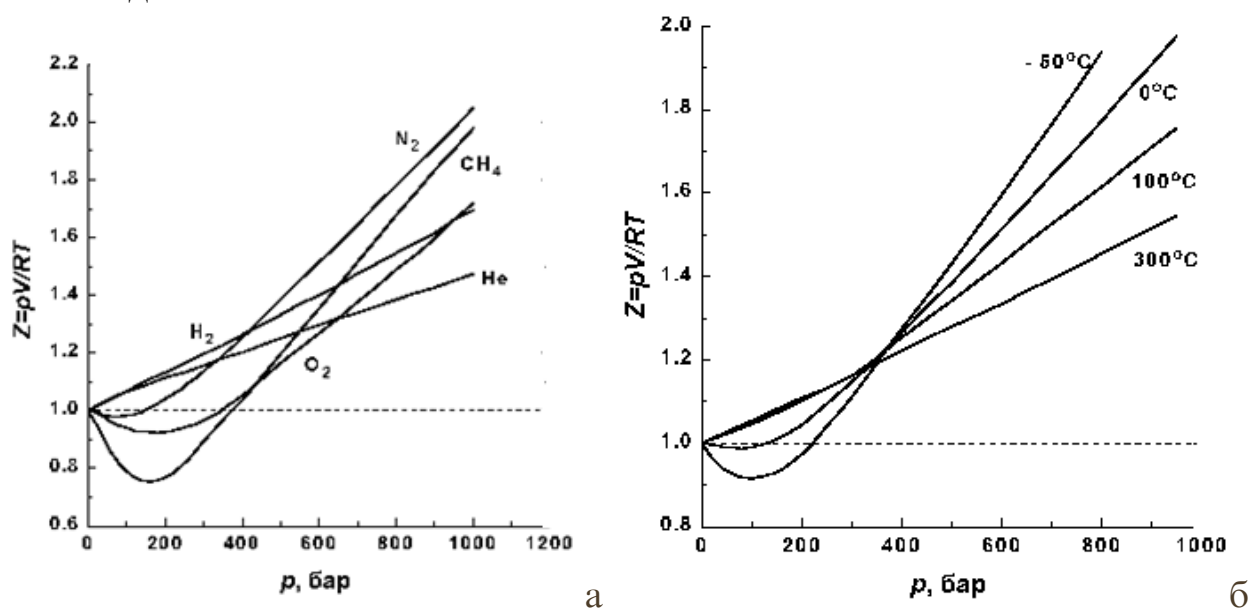
Ҷадвали 3.1.

Ҳаҷми як мол газ дар фишори 1 атм ва температураи 273 К

Газ	$V_m$ , л мол <sup>-1</sup>	Газ	$V_m$ , л мол <sup>-1</sup>	Газ	$V_m$ , л мол <sup>-1</sup>	Газ	$V_m$ , л мол <sup>-1</sup>
$\text{H}_2$	22,43	$\text{CO}_2$	22,26	$\text{N}_2$	22,40	$\text{Cl}_2$	22,02
$\text{He}$	22,43	$\text{N}_2\text{O}$	22,25	$\text{CO}$	22,40	$\text{SO}_2$	21,89
$\text{Ne}$	22,42	$\text{H}_2\text{O}$	22,14	$\text{O}_2$	22,39	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	21,50
$\text{F}_2$	22,42	$\text{NH}_3$	22,08	$\text{CH}_4$	22,36	$\text{O}_3$	21,60

Фактор (омил)  $Z$  –и фишурдашавӣ  $Z = pV_m/RT$  меъёри ғайриидеалӣ будани газ ба ҳисоб меравад, чунки барои гази идеалӣ дар шароити дилхоҳ  $Z = 1$  аст. Дар расми 3.1а вобастагии фактори фишурдашавӣ ба фишор барои баъзе газҳои реалӣ дар температураи 298 К тасвир ёфтааст (пунктир ба гази идеалӣ дахл дорад). Дар фишорҳои баланд барои ҳамаи газҳо  $Z > 1$  аст, яъне газҳои реалро нисбат ба гази идеалӣ фишурдан мушкил аст, чунки дар ин соҳа қувваҳои теладиҳии молекулавӣ бартарӣ доранд. Ҳангоми  $P \rightarrow 0, V \rightarrow \infty$  эффекти ҷазбшавии молекулавӣ барҳам меҳӯрад, аз ин сабаб, масофаи байни молекулаҳо ба беохирӣ майл менамояд ва барои

ҳамаи газҳо  $Z \rightarrow 1$ , яъне дар ин шароит ҳамаи газҳо ба гази идеалӣ монанд мешаванд.



Расми 3.1

Дар расми 3.1 б) вобастагии омили фишурдашавии нитроген ба фишор дар температураҳои гуногун тасвир ёфтааст. Бо пастшавии температура эффекти ҷазбшавии молекулавӣ меафзояд (сабаби дар наздикии фишори 100 бар зухуроти минимум мегардад). Дар температураи ниҳоят паст барои ҳамаи газҳо дар қачии вобастагӣ минимум мушоҳида мешавад. Барои гидроген ва гелий, ки температураи ҷӯшишашон паст аст, ин минимум дар температураҳои аз  $0^{\circ}\text{C}$  хеле паст мушоҳида мешаванд.

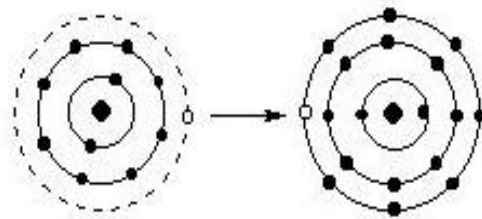
Аз маълумотҳои овардашуда бармеояд, ки дар фишорҳои паст гази реалӣ назар ба гази идеалӣ фишурдашавиаш зиёд буда ( $Z < 1$ ), дар фишорҳои баланд – кам ( $Z > 1$ ) аст. Сабаби асосии аз хосиятҳои гази идеалӣ фарқ кардани хосиятҳои гази реалӣ ҷазбшавии молекулаҳо ва мавҷудияти ҳаҷми хусусии онҳо мебошад. Ҳангоми конденсатсия, яъне гузариш ба ҳолати моеъ, ҷазбшавии байни молекулаҳо хуб аён мегардад.

### § 3.2 Қувваҳои таъсири мутақобила дар молекула

Атомҳо дар молекула асосан бо ду тарз пайвастагӣ ҳосил мекунанд:

1) Пайвастагии ионӣ. Хосиятҳои атомҳоро ҳангоми ҳосил кардани ин гуна пайвастагӣ асосан электронҳои қабати беруна, ки электронҳои валентӣ ном гирифтаанд, муайян менамоянд. Элементҳои гурӯҳҳои 1; 2; 3 ҳангоми пайвастагӣ ҳосил кардан электронҳои қабати беруниашонро дода, ба иони мусбат ва элементҳои гурӯҳҳои 5; 6; 7 электрон қабул карда, ба иони манфӣ табдил меёбанд (расми 3.2). Қувваҳои таъсири байни ионҳо қувваи кулонӣ мебошад. Ионҳои ҳамном ҳамдигарро тела мидиҳанду ионҳои гуногунном ҳамдигарро ҷазб мекунанд. Бузургии энергияи дисот-

сиатсияи бо роҳи таҷрибавӣ муайян шуда ба бузургии энергияи таъсири кулонӣ  $E = -k \frac{q_1 q_2}{r}$  тақрибан баробар аст.

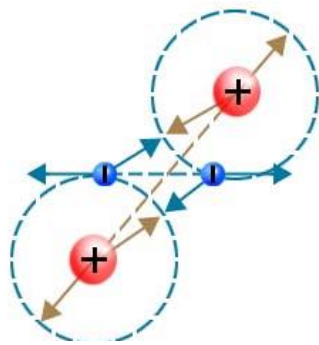


Иони натрий

Иони хлор

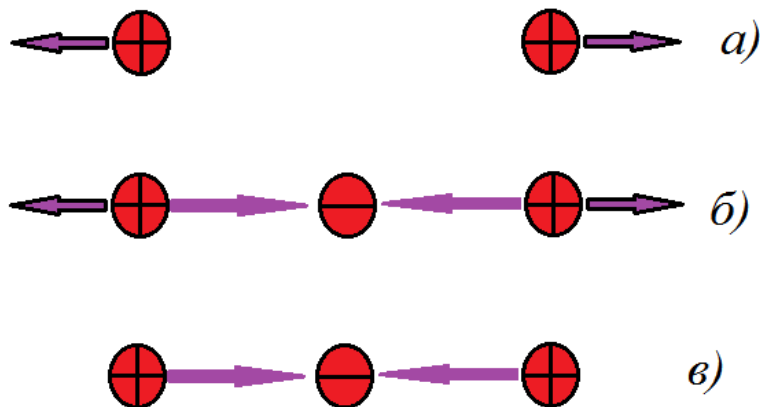
Расми 3.2 Ба вучудоии хлориди натрий

2) Пайвастагии ковалентӣ. Молекулаҳое, ки аз атомҳои якхела иборатанд, ба воситаи пайвастагии ковалентӣ ба вучуд меоянд. Масалан:  $H_2$ ;  $O_2$ ;  $N_2$ ;  $Cl_2$ . Дар ин ҳолат электронҳои қабати беруна умумӣ шуда, дар атрофи ҳарду ядро ҷарх мезананд ва бисётариин вақт дар байни ҳарду ядро ҷой мегиранд (расми 3.3 ва 3.4).



Расми 3.3 Моҳияти амалишавии робитаи ковалентӣ

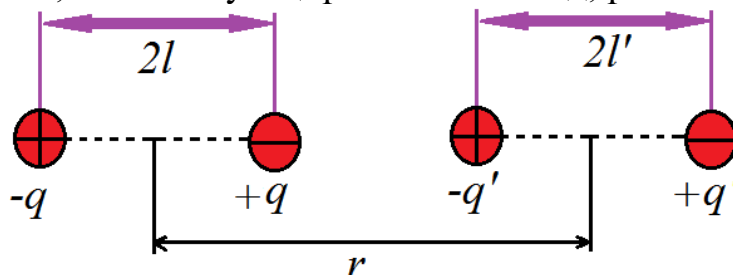
Табиати ин намуди пайвастагиро механикаи квантӣ шарҳ медиҳад. Аз диди физикаи классикӣ, агар дар байни ду заряди мусбат заряди манфиро ҷойгир кунем, қувваи ҷозиба назар ба қувваи теладиҳӣ зиёд мешавад (расми 3.2).



Расми 3.4

Дар пайвастагии ионӣ электрон пурра аз як атом ба атоми дигар мегузараду дар пайвастагиҳои ковалентӣ қисман.

Агар молекулаҳо қутбнок бошанд, байни онҳо қувваи кулонӣ таъсир мекунад. Байни молекулаҳои, ки атомҳои онҳо бо пайвастагии ионӣ робитаанд, боз қувваи Ван-дер-Ваалсӣ таъсир мекунад. Ба таъсироти қувваи Ван-дер-ваалсӣ молекулаҳо ориентатсияшонро дигар карда қутбҳои гуногунном ҳамсоя мешаванд. Аз расми 3.5 дида мешавад, ки қувваи Ван-дер-Ваалсӣ аз рӯи хате, ки молекулаҳо ро васл месозад, равона аст.



Расми 3.5

Шадидияти майдон дар масофаи  $r$  аз маркази молекулаҳо ба:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{q}{(r-l)^2} - \frac{q}{(r+l)^2} \right] = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{q}{(1-l/r)^2} - \frac{q}{(1+l/r)^2} \right], \quad (3.1)$$

баробар аст, ки дар ин ҷо  $q$ -бузургии мутлақи зарядҳо, ки дар масофаи  $2l$  аз ҳамдигар дар молекула ҷойгиранд, мебошад. Ба назар мегирем, ки  $l \ll r$  аст

$$\frac{1}{(1 \pm l/r)^2} = 1 \mp \frac{2l}{r} \mp \dots$$

Танҳо дараҷаи якумро ба назар гирем, ки фоя аст ва формулаи (3.1) намуди зерин мегирад:

$$E(r) = \frac{ql}{\pi\epsilon_0 r^3}.$$

Қувваеро, ки бо он ин майдон ба молекулаи қутбнокшуда таъсир мекунад, муайян менамоем. Маълум аст, ки

$$\begin{aligned} F(r) &= [q'E(r+l') - q'E(r-l')] = \\ &= \frac{qlq'}{\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{(r+l')^3} - \frac{q}{(r-l')^3} \right] = \frac{qlq'}{\pi\epsilon_0 r^3} \left[ \frac{1}{(1+l'/r)^3} - \frac{q}{(1-l'/r)^3} \right]. \end{aligned} \quad (3.2)$$

мебошад. Азбаски  $l \ll r$  ҳисоб меёбад,

$$\frac{1}{(1 \pm l'/r)^3} = 1 \mp \frac{3l'}{r} \mp \dots$$

қабул намудан равоист ва формулаи (3.2) намуди зерин мегирад:

$$F(r) = -\frac{6qlq'l'}{\pi\epsilon_0 r^4}. \quad (3.3)$$

Азбаски қутбнокшавӣ ба шадидияти майдон мутаносиб аст,  $l' \sim E \sim \frac{1}{r^3}$  қувваи Ван-дер-Ваалсӣ ба дараҷаи ҳафтуми масофа мутаносуби чаппа буданаш бармеояд:

$$F(r) \sim \frac{1}{r^7}. \quad (3.4)$$

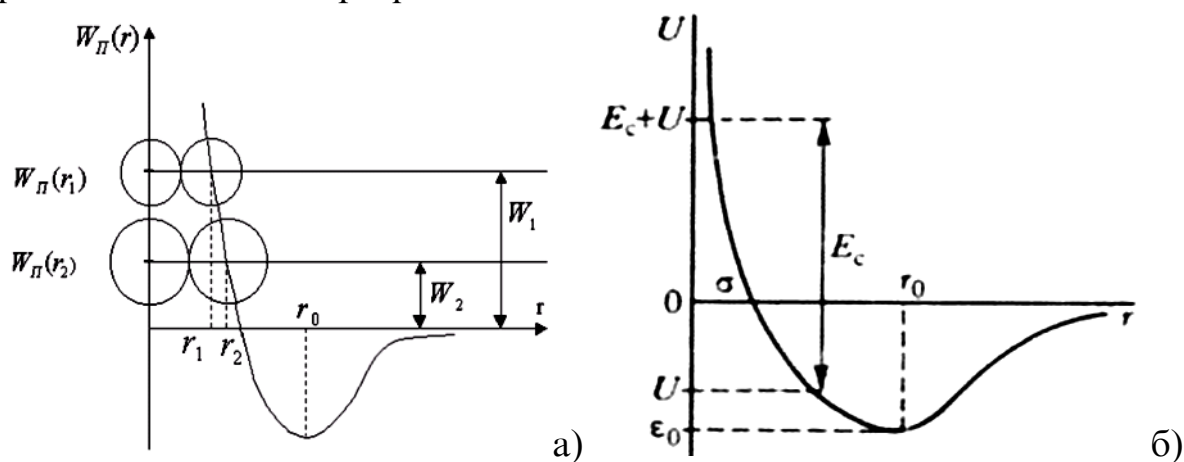


Яъне, қувваи Ван-дер-Ваалсӣ бо масофа ниҳоят зуд кам мешавад. Потенциали қувваи Ван-дер-Ваалсӣ ба дараҷаи шашуми масофа мутаносуби чаппа аст:

$$E_{\text{п}}(r) \sim \frac{1}{r^6} . \quad (3.5)$$

Азбаски ин қувваҳо дар натиҷаи таъсири диполҳо ба вучуд меоянд, онҳоро қувваҳои ориентатсионӣ - диполӣ меноманд. Ин қувваҳо моҳияти дисперсияро ҳам муайян мекунанд ва баъзан онҳоро қувваҳои ориентатсионӣ - дисперсионӣ низ меноманд.

Байни молекулаҳо дар масофаҳои назар ба радиуси молекула хурд қувваи теладиҳӣ таъсир мекунад дар масофаҳои дур қувваҳои ҷозоба. Дар расми 3.6 а, б вобастагии энергияи таъсири ҳамдигарии молекулаҳо ба масофаи байнашон тасвир ёфтааст.



Расми 3.6

Барои аксарияти молекулаҳои сферикӣ  $m=12$ ,  $n=6$  аст, дар ин маврид потенциали ҳамтаъсиротро потенциали Леннард-Љонс меноманд

$$E(r) = 4\epsilon_0 \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

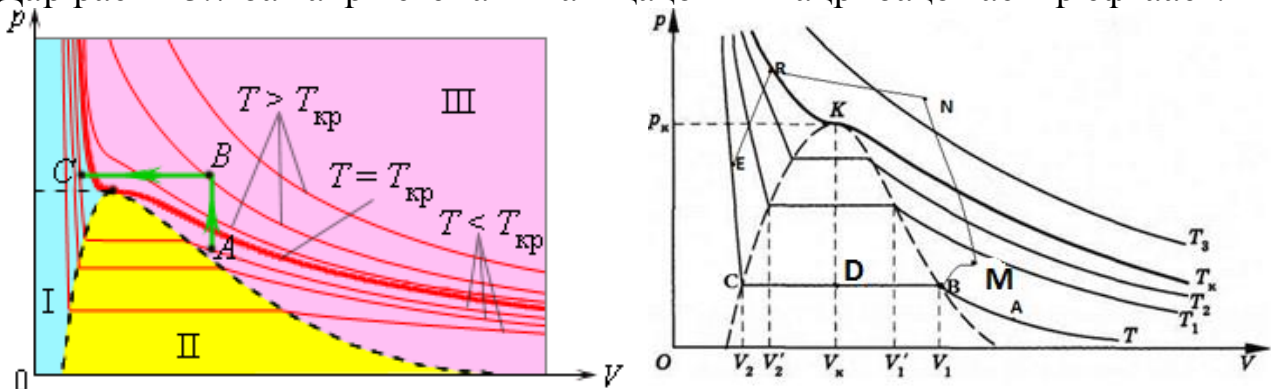
$\epsilon_0$  - энергияи камтарини таъсири мутақобила,  $\sigma$  - масофаи минималие, ки маркази ду молекула ба ҳамдигар наздик шуда метавонанд.

Дар газҳо энергияи кинетикӣ назар ба энергияи потенциалиашон зиёд аст. Энергияи натиҷавии таъсирот мусбат буда, молекулаҳо дар наздикии ҳамдигар истода наметавонанд. Вақте ки фишор (зичӣ)-ро зиёд мекунем, масофаи байни молекулаҳо кам шудан мегирад. Аз ин ҳисоб энергияи потенциалӣ меафзояд, дар натиҷа, дар ягон фишоре энергияи потенциалӣ назар ба энергияи кинетикӣ зиёд мешаваду молекулаҳо дигар озодона ҳаракат карда наметавонанд ва газ ба моеъ табдил меёбад. Шарти чун муҳити конденсӣ ҳисобидани системаҳои макроскопӣ энергияи натиҷавӣ бояд манфӣ бошад. Дар температураи дилхоҳ ба воситаи фишурдан газро ба моеъ мубадал кардан мумкин нест. Температураеро, ки ҳангоми аз он паст будан газро ба моеъ мубадал кардан имконпазиру дар мавриди аз он зиёд будан ба моеъ мубадал кардан номумкин аст, температураи критикӣ ё

бухронӣ меноманд. Дар ин температура фарқи ҳосиятҳои физикавии моеъ ва газ нест мешавад.

### § 3.3 Гузариш аз ҳолати газӣ ба ҳолати моеъ Изотермаҳои таҷрибавӣ. Нуқтаи критикӣ(бухронӣ)

Газҳои реалӣ аз идеалӣ бо он фарқ мекунанд, ки молекулаҳои ин газҳо ҳаҷми хусусии охиринок доранд ва бо қувваҳои мураккаби ҳамтаъсирот дар робитаанд. Инчунин, дар фишорҳои баланд ва температураҳои ниҳоят паст газҳои реалӣ конденсатсия мешаванд, яъне ба ҳолати моеъ мегузаранд, ки ин гуна гузариш дар газҳои идеалӣ номумкин аст. Соли 1861 физик ва химик ирландӣ Т. Эндрюс таҷрибавӣ вобастагии фишори газҳои туршии карбонро ба ҳаҷм, ҳангоми изотермӣ фишурдан, тадқиқ кард. Дар расми 3.7 ба таври схемавӣ натиҷаҳои ин таҷрибаҳо тасвир ёфтааст.



Расми 3.7 Изотермаҳои таҷрибавии газҳои реалӣ: соҳаи I - ҳолати моеъгӣ, II - ҳолати дуфазагӣ (моёъ бо буғи сер), III - ҳолати газӣ

Изотермаи ABCDE-ро муоина мекунем. Дар қитъаи АВ камшавии ҳаҷме, ки газ ишғол мекунад, афзудани фишорро аввалан ба ҳаҷм мутаносиби чаппа, баъд сустрар ба амал меорад. Аз нуқтаи В конденсатсияи газ сар мешавад ва дар фишори доимӣ, ки онро фишори буғҳои сер меноманд, то нуқтаи С давом меёбад. Ҳангоми фишурдан як қисми газ ба моеъ мубаддал мешаваду ҳаҷми ишғолкардаи моеъ нисбат ба газ кам аст, аз ин сабаб, фишор тағйир намеёбад. Дар нуқтаи С протсеси конденсатсияи газ ба итмом мерасад. Агар боз ҳаҷмро кам кардан гирем, фишурдашавии моеъ (қитъаи CE) ба амал меояд, ки фишор ниҳоят зуд меафзояд ва далели он аст, ки моеъ кам фишурда мешавад. Ҳангоми паст фурувардани фишоре, ки ба моеъ таъсир мекунад, мода бо ҳамон ҳолатҳо бо пай дар пайии акс мегузарад. Бо роҳи ЕС то нуқтаи чӯшиш васеъ мешаваду буғшавӣ (роҳи СВ) ба амал меояд, баъд буғи ҳосилшуда (нуқтаи В) то фишори ибтидоӣ (нуқтаи А) васеъ мегардад. Аз В то С -ро ҳолати дуфазагӣ меноманд: газ ва моеъ. Ҳолати устувори системаи физикавиро фаза меноманд. Ҳангоми баланд шудани температура қитъаи ҳолати дуфазагӣ кӯтоҳ шудан мегирад. Дар температураи критикӣ ( $T_k$ ) ҳолати дуфазагӣ ба як нуқта мубаддал мешавад, ки ҳаҷмашро ҳаҷми критикӣ ва фишорашро фишори критикӣ меноманд. Дар изотермаи ба температураи критикӣ мувофиқоянда гузариш аз ҳолати газӣ ба моеъ бефосила ба амал меояд. Аз температураи критикӣ

боло изотермаҳои газии реалӣ ба изотермаҳои газии идеалӣ монанд аст. Аз ҳолати газӣ ба ҳолати моеъ ҳам бо ҳолати дуфазагӣ гузаштан мумкин аст ҳам бо ҳолати якфазагӣ (ABCE ва ABMNRE). Дар ҳолати критикӣ газ васеъ ё фишурда шавад, ягон қуввае пайдо намешавад, ки онро ба ҳолати аввала биёрад. Аз ин сабаб, флукуатсияи ниҳоят меафзояд. Яъне, дар як чо зичӣ ниҳоят зиёд аст дар ҳолати дигар ниҳоят кам.

Дар ибтидо сарҳади байни онҳо буғ дар экран аён аст. Ба қадри тафси-дан сарҳади онҳо буғ паст шудан мегарад, аммо аён аст. Ҳангоми ба  $T_k$  наздик шудан сарҳад ноаён мегарад ва экран пурра торик мешавад. Баъди  $T_k$  экран боз равшан мешавад. Ин ҳодисаро опалесценсияи критикӣ меноманд. Дар ҳолати критикӣ флукуатсияи зичӣ ниҳоят зиёд аст, аз ин сабаб, рушноӣ аз он намегузараду экран торик мешавад.

Ягон ҳаҷми интихоб мекунем, ки назар ба ҳаҷми критикӣ зиёд бошад. Ҳангоми гарм кардан ҳаҷми моеъ кам шудан мегарад ва дар нуқтаи G тамоми ҳаҷми газ ишғол мекунад. Агар ҳаҷми интихобкарда назар ба ҳаҷми критикӣ хурд бошад, ҳангоми гарм кардан тамоми ҳаҷми моеъ ишғол намояд. Агар ҳангоми аз як фаза ба фазаи дигар гузаштан ягон миқдори гармӣ сарф шавад, онро гузариши фазагии чинси яқум меноманд. Масалан: барои гузариш аз ҳолати моеъ ба буғ ба системаи гармӣ додан лозим меояд. Баръакс, ҳангоми буғ ба моеъ табдил ёфтани миқдори гармӣ ҷудо мешавад. Айнан ҳамин тавр ҳангоми гузариши ҳаҷми кристаллӣ ягон миқдори гармӣ сарф мегараду ҳангоми ба ҳолати сахтӣ гузаштани моеъ гармӣ хориҷ мешавад. Мавриди гузариши фазагӣ энергия сарф намешавад, гузариши фазагии чинси дуҷум меноманд, ки дар онҳо гармии ниҳонии гузариш лозим нест.

Дар қитъаи BC натавонанд фишор, балки температура ҳам доимӣ мемонад. Дар нуқтаи C танҳо ҳолати моеъ бо ҳаҷми  $V_2 = V_m$  вуҷуд дораду дар нуқтаи B танҳо ҳолати газӣ бо ҳаҷми  $V_1 = V_g$ . Дар ҳолатҳои мобайнӣ ҳолати дуфазагӣ бо ҳаҷми  $V$  аз  $v_m$  мол моеъ ва  $v_g$  мол газ иборат аст. Нисбати миқдори молҳои фазаҳои моеъ ва газро дар ҳаҷми  $V$  муайян мекунем. Ҳаҷми як моли фазаҳои моеъ ва газӣ мувофиқан ба:

$$V_m^m = \frac{V_m}{v} , \quad V_m^g = \frac{V_g}{v} .$$

баробаранд. Ҳаҷми  $V$  аз ҳаҷмҳои  $v_m$  мол фазаи моеъгӣ ва  $v_g$  мол фазаи газӣ иборат аст:

$$V_m \rho_m + V_g \rho_g = M ; \quad V_m + V_g = V ; \quad \rho_g = \frac{M}{V} \quad \text{ва} \quad \rho_m = \frac{M}{V} . \quad V_m (\rho_m - \rho_g) = M - V \rho_g ,$$

$$V_m = V \frac{V_1 - V}{V_2 - V_1} ; \quad V = \frac{V_m^m}{v} v_m + \frac{V_m^g}{v} v_g = \frac{V_m}{v_m + v_g} v_m + \frac{V_g}{v_m + v_g} v_g . \quad (3.6)$$

Баъди дигаргунсозии ифодаи (3.6) нисбати зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{V_m}{V_g} = \frac{V_1 - V}{V - V_2} . \quad (3.7)$$

Сурат ва маҳраҷи тарафи чапи ифодаи (3.7)-ро ба массаи молии модда  $M$  зарб зада, нисбати массаҳои фазаҳои моеъ ва газиро меёбем:

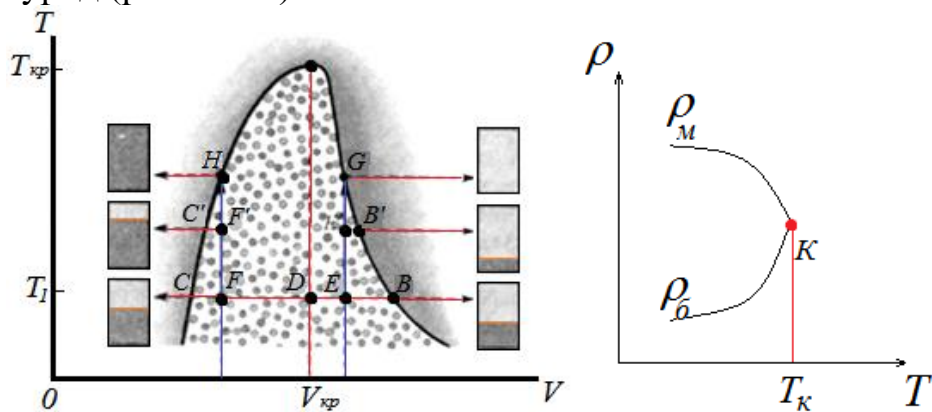
$$\frac{m_m}{m_g} = \frac{V_1 - V}{V - V_2} . \quad (3.8)$$

Хамин тавр, нисбати массаи моеъ ба массаи буғи сери он дар ҳолати дилхоҳи дуфазагӣ, ки бо ҳаҷми  $V$  муайян мешавад, ба нисбати порчаҳое, ки аз нуқтаи ба ҳаҷми  $V$  мувофиқоянда қитъаи ВС-ро ҷудо мекунад, баробар аст (расми 3.7). Аз формулаи (3.8) бармеояд, ки ҳар қадар ҳаҷми  $V$  ба ҳаҷми  $V_m$  наздик бошад, ҳамон қадар ҳиссаи зиёди модда дар ҳолати моеъ мешаваду ҳиссаи камаш дар ҳолати газӣ ва баракс, чӣ қадар ки ҳаҷми  $V$  ба  $V_g$  наздик бошад, ҳамон қадар ҳиссаи зиёди модда дар ҳолати газӣ ва ҳиссаи камаш дар ҳолати моеъ.

Аз таҷрибаҳои Т. Эндриус ошкор гардид, ки гази туршии карбон фақат дар температураи  $31^\circ\text{C}$  ( $T_k=304\text{ K}$ ) ва фишори  $P_k=7,4\text{ МПа}$  ба моеъ табдил меёбаду дар температураҳои аз ин зиёдтар ҳар қадар фишор назар ба  $P_k$  баланд карда шавад ҳам, газ ба моеъ табдил намеёбад.

$\bar{U}$  температураи  $31^\circ\text{C}$ -ро барои гази туршии карбон температураи критикӣ номид.

Дар расми 3.7 изотермаҳои газ дар температураҳои гуногун ( $T_1 < T_2 < T_3 < T_k < T_4$ ) тасвир ёфтаанд. Аз расм дида мешавад, ки бо баландшавии температура қитъаи горизонталӣ ба ҳолати дуфазагӣ мувофиқ меомада кӯтоҳ у дар ягон температураи  $T_k$ , ки критикӣ меноманд, дар нуқтаи К чамъ мешавад. Изотермае, ки ба температураи  $T_k$  мувофиқ меояд, изотермаи критикӣ меноманд. Инчунин, аз расми 3.7 намоён аст, ки бо баландшавии температура ҳаҷми молии ишғолкардаи моеъ  $V_m^m$  меафзояд, ки ба камшавии зичии он  $\rho_m = \frac{M}{V_m^m}$  баробарқувва аст ва баракс, ҳаҷми молии газ  $V_m^g$  кам мешаваду зичиаш  $\rho_g = \frac{M}{V_m^g}$  зиёд. Дар ҳолати критикӣ  $V_m^m = V_m^g \equiv V_k$  ва  $\rho_m = \rho_g$ , яъне дар ҳолате, ки бо параметрҳои критикӣ  $T_k, P_k, V_k$  муайян мешавад, ҳаргуна фарқияти байни моеъ ва буғи сери он барҳам мехӯрад (расми 3.8).



Расми 3.8

Буғе, ки бо моеъи худ дар мувозинатии динамикӣ қарор дорад, буғи сер меноманд. Бо зиёд шудани температура зичии буғи сер зиёд мешаваду зичии моеъ кам. Дар температураи критикӣ фарқи моеъу газ нест мешаваду зичиҳо якандоза боқӣ мемонанд.

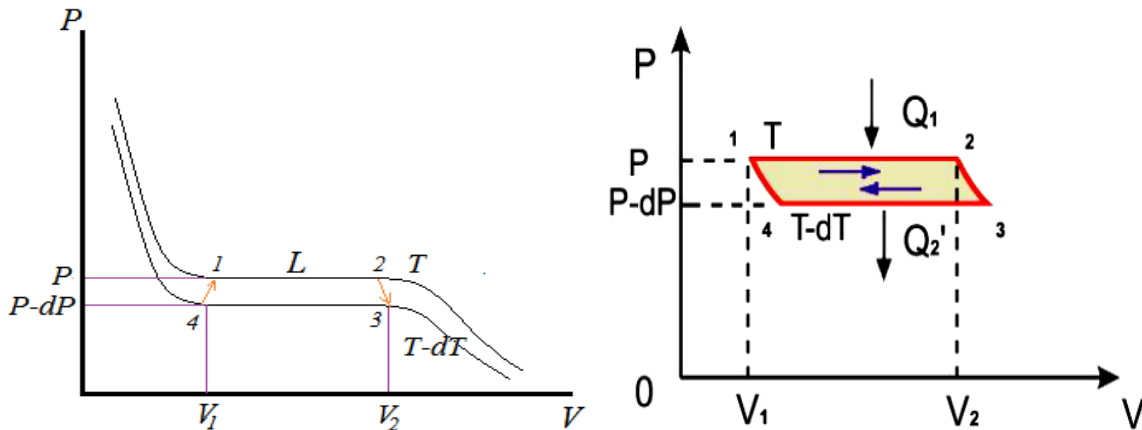
Дар температураҳои аз  $T_k$  зиёд танҳо ҳолати газӣ мебошад, чунки энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо назар ба энергияи по-

тенсиалии таъсири мутақобилашон ниҳоят зиёд мешавад. Дар ин мавридҳо ( $T > T_k$ ) бо фишорҳои ниҳоят баланд ҳам газро ба моеъ гардондан номумкин мешавад. Бо ин сабаб дар охири садаи XIX натавони-станд дар температураҳои муътадил, ки аз  $T_k$  хеле баланд буд, газро бо роҳи фишурдан ба моеъ табдил диҳанд.

Ба сифати намуна қимати таҷрибавии температураи критикиро барои баъзе моддаҳо меорем: барои об  $374\text{ }^\circ\text{C}$ , газҳои туршии карбон  $31\text{ }^\circ\text{C}$ , оксиген  $-119\text{ }^\circ\text{C}$ , нитроген  $-147\text{ }^\circ\text{C}$ , гидроген  $-240\text{ }^\circ\text{C}$ , гелий  $-268\text{ }^\circ\text{C}$ . Аз ин ҷо бармеояд, ки газҳои туршии карбонро интихоб кардани  $T$ . Эндриус бомаврид будааст.

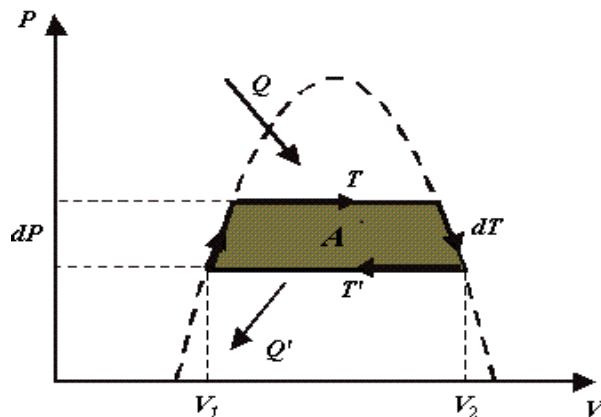
### § 3.4 Муодилаи Клапейрон-Клаузиус

Бо зиёд шудани температура фишори буғи сер меафзояд. Бигузур ду изотермаи таҷрибавӣ мавҷуд бошанд, ки ба температураҳои  $T$  ва  $T-dT$  мувофиқ оянд (расми 3.9).



Расми 3.9

Барои ёфтани вобастагии фишори буғи сер ба температура аз методи сиклҳои термодинамикӣ истифода мебарем (расми 3.10).



Расми 3.10

Кори иҷрогардида ба масоҳати фигураи ҳосилшуда баробар аст.

$$A = P(V_2 - V_1) + (P - dP)(V_1 - V_2); \quad A = P(V_2 - V_1) - (P - dP)(V_2 - V_1);$$

$$A = P(V_2 - V_1) - P(V_2 - V_1) + dP(V_2 - V_1); \quad A = dP(V_2 - V_1);$$

ин ҷо  $V_1$  - ҳаҷми моеъ;  $V_2$  - ҳаҷми буғи сер мебошанд. Барои аз ҳолати моеъ ба буғ гузаштан гармии ниҳонии гузариши фазагӣ  $L$  лозим аст. ККФ-и ин цикл чун:

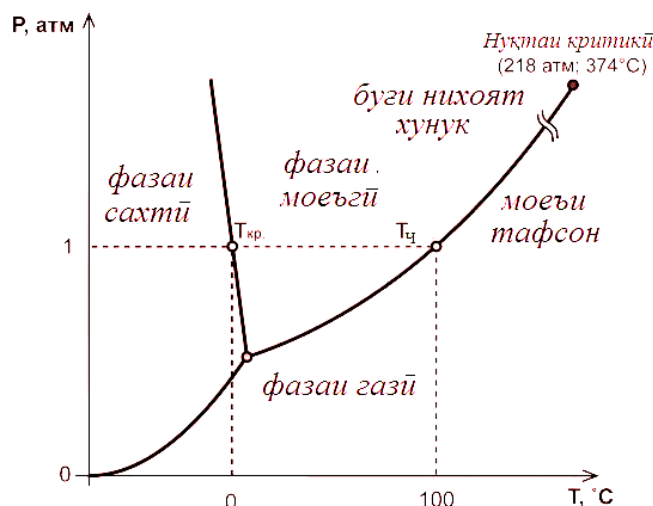
$$\eta = \frac{A}{L} = \frac{dP(V_2 - V_1)}{L} \quad (3.9)$$

муайян карда мешавад. Аз тарафи дигар ККФ-и сикли Карно тавассути:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T - dT}{T} = 1 - 1 + \frac{dT}{T} = \frac{dT}{T} \quad \text{хисоб меёбад.} \quad \frac{dP(V_2 - V_1)}{L} = \frac{dT}{T};$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)} \quad (3.10)$$

Ҳамин аст муодилаи Клапейрон-Клаузиус. Азбаски  $V_2 > V_1$  аст,  $\frac{dP}{dT} > 0$  мешавад, яъне бо баланд шудани температура фишори буғи сер меафзояд (расми 3.8).



Расми 3.11

Нуқтаи С нуқтаи сегона мебошад, яъне дар ин нуқта 3-хат во-мехӯранд (расми 3.11).

Муодилаи Клапейрон-Клаузиусро танҳо ба гузариши фазагии чинси якум татбиқ кардан мумкин аст. Муодилаи Клапейрон-Клаузиус муодилаи термодинамикиест, ки протсессҳои аз як фаза ба фазаи дигар гузаштани моддаҳо (бухоршавӣ, гудозиш, сублиматсия, гузариши полиморфӣ ва ғ.)-ро ифода мекунад. Муодилаи Клапейрон-Клаузиус барои ҳар гуна гузаришҳои фазавие, ки дар онҳо фурубурд ва ё ихроҷи гармӣ ба амал меояд, татбиқпазир аст ва натиҷаи бевоситаи иҷро гардидани шартҳои мувозинати фазавӣ мебошад.

Аз муодилаи Клапейрон-Клаузиус вобастагии функционалии фишорро ба температура муайян кардан мумкин аст. Аз моеъи температураи  $T_0$  дошта ба буғи температурааш  $T$  бо ду роҳ гузаштан мумкин аст:

1) Дар температураи  $T_0$  моеъро ба буғ табдил дода, баъд буғро то температураи  $T$  дар фишори доимӣ гарм мекунем:

$$Q_1 = L_0 + C_p(T - T_0)$$

- 2) Аввалан моеъро то температураи  $T$  гарм карда, баъд дар ҳамон температура ба буғ табдил медиҳем:

$$Q_2 = C_m(T - T_0) + L(T).$$

Дар ҳарду маврид миқдори гармии баробар сарф мешавад:  $Q_1 = Q_2$ .

$$L_0 + C_p(T - T_0) = C_m(T - T_0) + L(T).$$

Аз ин ҷо

$$L(T) = L_0 + (C_p - C_m)(T - T_0). \quad (3.11)$$

Ба воситаи ин формула гармии ниҳонии гузариши фазагии чинси якум (буғофар)-ро дар температраи дилхоҳ ҳисоб кардан мумкин аст. Масалан, барои буғи об дар  $T_0 = 373$  К ва  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Па  $L_0 = 2,25$  МҶ/кг аст. Аз ин натиҷаҳо истифода бурда барои  $T = 523$  К меёбем, ки  $L(T) = 2,12$  МҶ/кг мешавад, ки қимати таҷрибавияш бошад ба  $L(T) = 2,11$  МҶ/кг баробар аст.

Ифодаи (3.11)-ро ба муодилаи Клапейрон-Клаузиус гузошта ифодаи зеринро ҳосил менамоем:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L_0 + (C_p - C_m)(T - T_0)}{T(V_2 - V_1)}. \quad (3.12)$$

Азбаски ҳаҷми ишғолмекардаи моеъ назар ба ҳаҷми ишғолмекардаи ҳамон миқдор газ ниҳоят хурд аст  $V_1 \ll V_2$ , онро ба назар намегирем ва буғро гази идеалӣ меҳисобем. Барои як мол газ  $PV_2 = RT$  ва  $V_2 = \frac{RT}{P}$  аст.

Ифодаи  $V_2$ -ро ба муодилаи (3.12) гузошта чунин таносубро ҳосил мекунем:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{[L_0 + (C_p - C_m)(T - T_0)]P}{RT^2}.$$

Баъди ба тағйирёбандаҳо ҷудо кардан аз ин муодила дар ҳудудҳои аз  $T_0$  то  $T$  ва аз  $P_0$  то  $P$  интеграл мегирем:

$$\begin{aligned} \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} &= \int_{T_0}^T \left[ \frac{L_0 + (C_p - C_m)(T - T_0)}{RT^2} \right] dT \\ \ln \frac{P}{P_0} &= \frac{L_0}{R} \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^2} + \frac{(C_p - C_m)}{R} \int_{T_0}^T \frac{dT}{T} + \frac{(C_p - C_m)}{R} T_0 \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^2} \\ \ln \frac{P}{P_0} &= \frac{L_0}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) + \frac{C_p - C_m}{R} \ln \frac{T}{T_0} + \frac{(C_p - C_m) T_0}{RT} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ба воситаи формулаи (3.13) фишори буғи серро дар температураи дилхоҳ ҳисоб кардан мумкин аст. Масалан, барои буғи об дар  $T_0 = 373$  К ва  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Па бузургии  $L_0 = 2,25$  МҶ/кг аст. Аз ин натиҷаҳо истифода бурда барои  $T = 523$  К фишори буғи серро ҳисоб кунем,  $P = 4,35 \cdot 10^8$  Па ҳосил мешавад, ки қимати таҷрибавияш  $P = 4,76 \cdot 10^8$  Па мебошад. Фарқ асосан аз ҳисоби буғро гази идеалӣ ҳисобидан, пайдо мешавад.

### § 3.5 Муодилаи Ван-дер-Ваалс

Ҳангоми паст будани фишор фишурдашавии гази реалӣ назар ба гази идеалӣ зиёд ва дар фишорҳои баланд фишурдашавии гази реалӣ аз гази идеалӣ кам аст. Сабаб дар он аст, ки дар масофаҳои дур байни молекулаҳо



таъсири қувваи ҷазбшавӣ зиёдтар асту дар масофаҳои наздик таъсири қувваи теладиҳӣ. Коэффициенти фишурдашавӣ  $\beta = -\frac{\Delta V}{V\Delta P}$  ва барои протсессҳои

изотермӣ ва адиабатӣ  $\beta_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{dV}{dP}\right)_T$ ;  $\beta_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{dV}{dP}\right)_S$ .

Ин ҷо  $\beta_T$ -коэффициенти фишурдашавии изотермӣ асту  $\beta_S$ -коэффициенти фишурдашавии адиабатӣ. Фишурдашавии моеъҳо назар ба газҳо ниҳоят кам аст, чунки молекулаҳои онҳо зич ҷойгиранд. Масалан, барои об  $\beta_T = 0,47 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ , бензин  $\beta = 0,82 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ , глицерин  $\beta_T = 0,22 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$  ва атсетон  $\beta_T = 1,27 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$  мебошанд. Фишурдашавии газҳо назар ба моеъҳо тақрибан 1000 маротиба зиёд аст.

Барои як мол гази идеалӣ  $PV=R$ ;  $v = \frac{RT}{P}$  ва  $\left(\frac{dV}{dP}\right)_T = -\frac{RT}{P^2}$ ;  $\beta_T = \frac{1}{P}$ .

Барои газҳои идеалӣ коэффициенти фишурдашавии изотермӣ ба бузургии чаппа аз фишор баробар аст.

Температураи критикиро доништа, аз қоидаи эмпирикии диаметри ростхатта (қоидаи Калету Матиас), ки мувофиқи он зичии миёнаи моеъ ва буғи сер функцияи хаттии температура мебошад, истифода бурда, зичии критикиро (ҳаҷми молии критикии ба он мувофиқро ҳам) муайян намудан мумкин аст:

$$\langle \rho \rangle = \frac{\rho_m + \rho_g}{2} = A + BT, \quad (3.14)$$

ки ин ҷо А ва В- бузургиҳои доимӣ барои моддаи додашудаанд. Хатти ростро то температураи критикӣ давом дода зичии критикиро муайян менамоянд.

Кӯшиши аввалини дар муодилаи гази идеалӣ ба назар гирифтани ҳаҷми хоси молекулаҳои гази реалӣ дар муодилаи Дюпре (1864) ба назар мерасад:

$$P(V - vb) = vRT \quad (3.15)$$

Ин ҷо  $b$ - ҳаҷми хусусии як мол молекула мебошад.

Ҳангоми пастшавии температура ҳамтаъсири молекулаҳо дар газҳои реалӣ ба конденсатсия меорад (моеъ ба вучуд меояд). Ҷазбшавии молекулаҳо ба ҳамдигар ба мавҷудияти ягон фишори дохилӣ дар газ  $P_d$  (баъзан онро фишори статикӣ ҳам меноманд) эквивалент мебошад. Аввалин маротиба  $P_d$  дар намуди умумӣ дар муодилаи Гирн (1865) ба назар гирифта шудааст:

$$(P + P_d)(V - vb) = vRT \quad (3.16)$$

Ван-дер-Ваалс соли 1873 фишори дохилиро ба сурати функционалӣ маънидод кард. Мувофиқи модели Ван-дер-Ваалс қувваи ҷозибаи байни молекулаҳо (қувваи Ван-дер-Ваалс) ба дараҷаи шашуми масофаи байни онҳо, ё ки ба квадрати ҳаҷми ишғолкардаи газ мутаносуби чаппа мебошад.  $\bar{U}$  чунин ҳисобид, ки фишори дохилӣ ба фишори беруна ҳам мешавад. Бо дарназардошти ин мулоҳизаҳо муодилаи ҳолати гази идеалӣ ба муодилаи Ван-дер-Ваалс мубаддал мешавад:



$$\left(P + \frac{a'm^2}{V^2}\right)(V - mb') = \frac{m}{M}RT \quad (3.17)$$

Ин чо  $a', b'$  -доимиҳои Ван-дер-Ваалс мебошанд.

Барои 1кг модда бузургиҳои физикавиरो бузургиҳои хос меноманд:

$$\frac{V}{m} = \mathcal{V}_0, \quad \frac{R}{M} = R_0.$$

$$\left(P + \frac{a'}{\mathcal{V}_0^2}\right)(\mathcal{V}_0 - b') = R_0T. \quad (3.18)$$

Ин ифода муодилаи Ван-дер-Ваалс барои бузургиҳои хос мебошад. Аксар вақт доимиҳои дигари Ван-дер-Ваалсро истифода мебаранд:  $a = a'M^2, b = b'M$ . Дар ин маврид муодилаи Ван-дер-Ваалс шакли зеринро мегирад:

$$\left(P + \frac{am^2}{M^2V^2}\right)\left(V - \frac{m}{M}b\right) = \frac{m}{M}RT. \quad (3.19)$$

Ё ки ба воситаи миқдори модда онро ба намуди:

$$\left(P + \frac{v^2a}{V^2}\right)(V - vb) = vRT \quad (3.20)$$

оварда метавонем. Ин муодилаи ҳолати газҳои реалӣ аст, ки олими нидерландӣ Я.В. Ван-дер-Ваалс соли 1873 пешниҳод кардааст. Муодилаи Ван-дер-Ваалс барои тадқиқи рафтори газҳои реалӣ аҳамияти калон дорад. Аз ин ҷост, ки  $\bar{v}$  барои ин кашфиёт соли 1910 ба ҷоизаи Нобелӣ сазовор доништа шуд. Доимиҳои  $a$  ва  $b$  барои ҳар як газ қиматҳои хос доранд: **a**- бузургии фишори дохилии газро, ки қувваҳои ҷозибаи байни молекулаҳо ба амал меоранд, ифода мекунад; **b** - ислоҳ ба ҳаҷми хоси молекулаҳо буда, назар ба ҳаҷми хусусии ҳамаи молекулаҳои дар як киломол газ буда 4 маротиба зиёд аст. Барои як мол модда  $V = V_m$  аст, аз ин рӯ муодила чунин намуд мегирад:

$$\left(P + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT. \quad (3.21)$$

Агар гузариши  $a \rightarrow a', b \rightarrow b', V_m \rightarrow \mathcal{V}_0$  ва  $R \rightarrow R_0$  шавад, муодиларо барои бузургиҳои хос ҳосил мекунем.

Дар ҷадвали 3.2 бузургии доимиҳои  $a$  ва  $b$  барои баъзе газҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 3.2 Доимиҳои Ван-дер-Ваалс барои баъзе газҳо

Газ	$a, \text{м}^6 \text{Па мол}^{-2}$	$b, 10^{-6} \text{м}^3 \text{мол}^{-1}$	Газ	$a, \text{м}^6 \text{Па мол}^{-2}$	$b, 10^{-6} \text{м}^3 \text{мол}^{-1}$
He	0,003457	23,70	NO	0,1358	27,89
Ne	0,02135	17,09	NO <sub>2</sub>	0,5354	44,24
Ar	0,1363	32,19	Буғи об	0,5536	30,49

Kr	0,2349	39,78	H <sub>2</sub> S	0,4490	42,87
Xe	0,4250	51,05	NH <sub>3</sub>	0,4225	37,07
H <sub>2</sub>	0,02476	26,61	SO <sub>2</sub>	0,6803	56,36
N <sub>2</sub>	0,1408	39,13	CH <sub>4</sub>	0,2283	42,78
O <sub>2</sub>	0,1378	31,83	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,4530	5,714
Cl <sub>2</sub>	0,6579	56,22	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,5562	63,80
CO	0,1505	39,85	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,8779	84,45
CO <sub>2</sub>	0,3640	42,67	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,824	115,4

Дар ҷадвали зер ҳисоби  $PV$  дар протсеси изотермӣ бо муодилаҳои Менделеев-Клапейрон ва Ван-дер-Ваалс муқоиса карда шудаанд. Чи хеле ки аз ҷадвал дида мешавад, бо зиёд шудани фишор фарқи онҳо меафзояд.

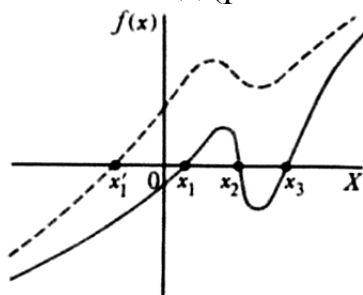
$P$ , атм	$PV$ , Па м <sup>3</sup>	$(P + \frac{a'}{V^2})(V - b')$ , Па м <sup>3</sup>
1	101,3	101,3
100	100,7	101,3
200	106,2	102,2
500	140,8	102,7
1000	209,6	90,5

Муодилаи Ван-дер-Ваалс нисбати ҳаҷм муодилаи кубӣ мебошад:

$$(PV_m^2 + a)(V_m - b) = RTV_m^2 \cdot PV_m^3 - bPV_m^2 + aV_m - ab - RTV_m^2 = 0$$

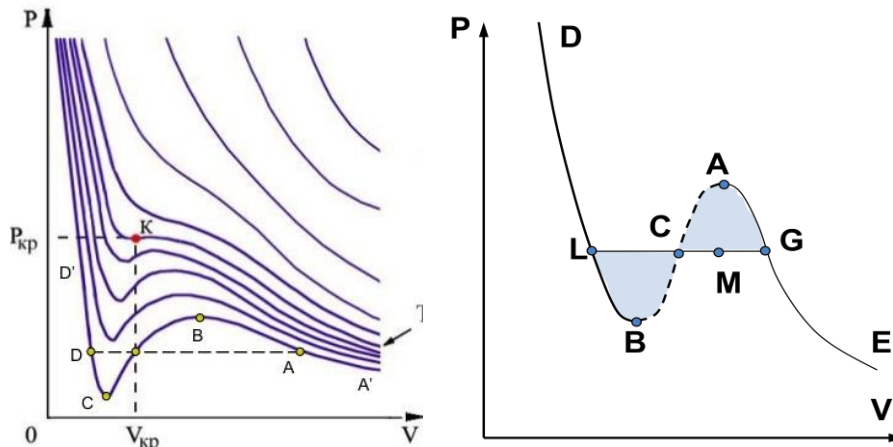
$$V_m^3 - bV_m^2 - \frac{RT}{P}V_m^2 + \frac{a}{P}V_m - \frac{ab}{P} = 0 \quad V_m^3 - \left(b + \frac{RT}{P}\right)V_m^2 + \frac{a}{P}V_m - \frac{ab}{P} = 0 \quad (3.22)$$

Хусусияти асосии муодилаҳои кубӣ дар он аст, ки ҳангоми  $x \rightarrow \infty$   $f(x^3) \rightarrow \infty$  ва  $x \rightarrow -\infty$   $f(x^3) \rightarrow -\infty$ . Тири  $X$ -ро як ва ё се маротиба буриданаш лозим аст. Яъне, муодилаҳои кубӣ як решаи ҳақиқию ду мавҳум, ё ки се решаи ҳақиқӣ дошта метавонанд (расми 3.12).



Расми 3.12

Дар расми 3.13 изотермаҳои аз муодилаи Ван-дер-Ваалс бароянда тасвир шудааст.



Расми 3.13 Изотермаҳои гази Ван-дер-Ваалсӣ

Дар қитъаҳои **A, G, E** ва **D, L, B** бо афзудани ҳаҷм фишор кам

мешавад:  $\frac{dP}{dV} < 0$ . Яъне, ин ҳолатҳо имконпазиранд. Дар қитъаи **BCA** бо

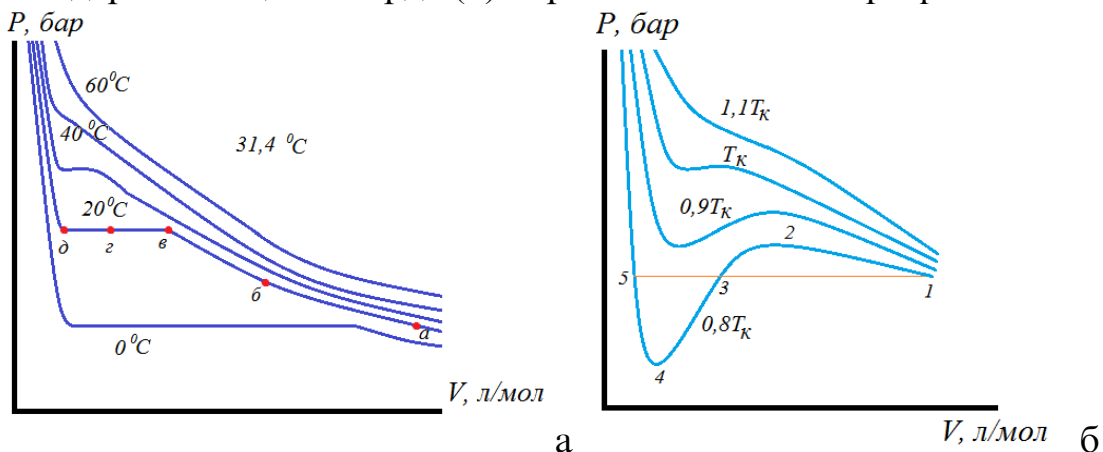
афзудани ҳаҷм фишор зиёд мешавад:  $\frac{dP}{dV} > 0$ . Ин ҳолат номумкин аст. Аз

изотермаҳои таҷрибавӣ бармеояд, ки ин ҳолатро, яъне аз нуқтаи **L** ба **G** система ба воситаи ҳолати дуфазагӣ мегузарад. Азбаски дар ҳарду гузариш энтропия якандоза тағйир меёбаду энергияи дохилӣ тағйир намеёбад, корҳои иҷрошуда ба ҳам баробаранд (қоидаи Максвелл):

$$\int_{LBCAG} PdV = \int_{LCG} PdV. \tag{3.23}$$

Яъне, ҳатти ростро ҳамин хел гузаронидан лозим аст, ки шаклҳои аз он болою поён масоҳатҳои баробар дошта бошанд.

Дар расми 3.14 изотермаҳои таҷрибавӣ (а) ва изотермаҳои аз муодилаи Ван-дер-Ваалс ҳисобкарда (б) барои гази  $CO_2$  тасвир ёфтааст.



Расми 3.14.

Аз расм дида мешавад, ки дар температураи аз критикӣ паст ( $31,04^\circ C$ ) ба ҷойи қитъаи горизонталӣ таҷрибавӣ, ки ба ҳолати мувозинатии моеъ ва буғи сери он мувофиқ меояд, қачии мавҷмонанди 1,2,3,4,5 бо се решаи ҳақиқӣ мушоҳида мешавад, ки танҳо дутои он, 1 ва 5 имконпазиранд. Решаи сеюм (нуқтаи 3) амалан воқеӣ нест, чунки дар қитъаи 2,3,4 меҳобад ва ба шарти устувории системаи термодинамикӣ  $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T < 0$  зид аст.

Ҳолатҳо дар қитъаҳои 1,2 ва 5,4, ки ба ҳолатҳои буғи афзунсардшуда (аз рӯи параметрҳои бояд ки моеъ бошад аз рӯи ҳолати газ аст) ва моеъи барзиёдтафсида (мувофиқи параметрҳои бояд ки газ бошад, мутобиқи ҳолати моеъ мемонад) рост меоянд, ғайриустувор (метастабилӣ) мебошанд, танҳо дар шароитҳои муайян амалӣ шуданашон имконпазир аст. Масалан, агар обро якҷанд маротиба ҷӯшонем, то ки дар дохили он ҳубобчаҳои ҳаво намонанд ва об тоза бошад, температураи об назар ба температураи ҷӯшиш баланд мебарояд. Агар ягон микдор сода, ё ки чой партоем, як қисми моеъ тез ба буғ мубаддал мешавад. Агар буғро аз нуқтаи 1 боло оҳиста-оҳиста фишорем, аз рӯи хатти 1,2 боло рафтан мумкин аст. Барои ин бояд, ки дар буғ марказҳои конденсатсия, хусусан чангҳо набошанд. Дар ин маврид буғ дар ҳолати ниҳоят серӣ, яъне дар ҳолати афзунсард мебошад. Агар ягон маркази конденсатсия ба вучуд ояд, як қисми газ ба моеъ мубаддал ва туман пайдо мешавад. Агар аз ин гуна буғ ионе гузарад, қатраҳои моеъ ба вучуд меоянд. Ин ҳолати буғи ниҳоят серро дар камераи Вилсон барои қайди зарраҳои заряднок истифода мебаранд.

Бо афзудани температура ҳар се решаи муодила наздику дар температураи критикӣ  $T_K$  ба ҳам баробар мешаванд. Дар нуқтаи критикӣ изотермаи Ван-дер-Ваалс нуқтаи қатшавӣ  $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$  бо расандаи талӣ  $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$  дорад, яъне

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T_K} = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3} = 0; \quad (3.24)$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T_K} = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{V^4} = 0. \quad (3.25)$$

Ин муодилаҳоро якҷоя ҳал карда, ифодаҳои зеринро ҳосил менамоем:

$$V_K = 3b, \quad (3.26)$$

$$P_K = \frac{a}{27b^2}, \quad (3.27)$$

$$T_K = \frac{8a}{27Rb}. \quad (3.28)$$

Азбаски се муодила дода шудааст, ду доимии Ван-дер-Ваалс ( $a$  ва  $b$ ) ва доимии универсалии газҳоро дар нуқтаи критикӣ барои ҳар як газ ёфтан мумкин аст:

$$b = \frac{V_K}{3}; \quad a = 27P_K \frac{V_K^2}{9} = 3P_K V_K^2; \quad R = \frac{8a}{27bT_K} = \frac{8 \cdot 9 \cdot P_K V_K^2}{27V_K T_K} = \frac{8P_K V_K}{3T_K}$$

Ин ифодаҳо имкон медиҳанд, ки аз бузургии параметрҳои критикӣ газ доимии Ван-дер-Ваалс муайян карда шаванд. Мувофиқи муодилаи Ван-дер-Ваалс, омилҳои фишурдашавӣ  $Z_K$  барои ҳамаи газҳо баробар аст

$$Z_K = \frac{P_K V_K}{RT_K} = \frac{3}{8} = 0,375. \quad (3.29)$$

Аз ҷадвали 3.2 дида мешавад, ки бузургии  $Z_K$  барои газҳои реалӣ тақрибан доимӣ (0,27 – 0,30 барои молекулаҳои бекутб), вале назар ба бузургии назариявии аз муодилаи Ван-дер-Ваалс бармеомада кам мебошад. Барои молекулаҳои кутбӣ ин фарқ боз ҳам зиёдтар аст.

Ван-дер-Ваалс сабаби ноаникии муодиларо чун натиҷаи баназарнагирии ассотсиатсияи молекулаҳо дар фазаи газӣ меҳисобид. Баъди соли 1873 худи Ван-дер-Ваалс шаш варианти дигари муодилаи ҳолатро пешниҳод кардааст, ки охиринаш соли 1911 панҷ доимии эмпирикӣ дошт. Ду модификатсияи муодилаи (3.20)-ро Клаузиус пешниҳод кардааст, ки дар онҳо доимии  $b$  мураккаб карда шудааст. Болсман бошад, се муодилаи ин намудро ҳосил намудааст, ки дар онҳо доимии  $a$  тағйир дода шудааст. Зиёда аз 100 муодилаҳои ин намуд мавҷуданд, ки бо адади доимӣҳои эмпирикӣ, дараҷаи сахҳӣ ва соҳаи татбиқашон фарқ мекунанд. Маълум шуд, ки барои ифодаи сахҳи ҳолати гази реалӣ дар ҳудуди васеи  $P, V, T$  адади доимӣҳо набояд аз панҷто кам бошад ва ҳамаи ин муодилаҳо дар соҳаи конденсатсияи газ татбиқнашавандаанд. Аз муодилаҳои соддаи дупараметра натиҷаи бехтарро муодилаҳои Дитеричи ва Бертло медиханд.

### 3.6 Муодилаи вириалии ҳолат

Ҳолати гази реалиро сахҳ бо муодилаҳои вириалӣ (ё ки муодила бо коэффисиентҳои вириалӣ) ифода намудан мумкин аст. Қатори беохире, ки аз рӯйи дараҷаи  $1/V$  паҳн карда шудааст, истифода мешавад.:

$$PV_m = RT \left( 1 + \frac{B_2}{V_m} + \frac{B_3}{V_m^2} + \dots \right) . \quad (3.30)$$

Коэффисиентҳои  $B_2, B_3, \dots$  (ба температура ва табиати гази мадди назар вобаста буда ба зичӣ ва фишор вобаста нестанд)-ро, мувофиқан коэффисиентҳои вириалии дуюм, сеюм ва ҳ.к. меноманд. Коэффисиентҳои вириалии якум баробари 1 аст. Коэффисиенти вириалии дуюм назар ба пасояндаҳояш заруртар мебошад, чунки барои аксарияти мавридҳо  $\frac{B_2}{V_m} \gg \frac{B_3}{V_m^2} \gg \dots$  мебошад.

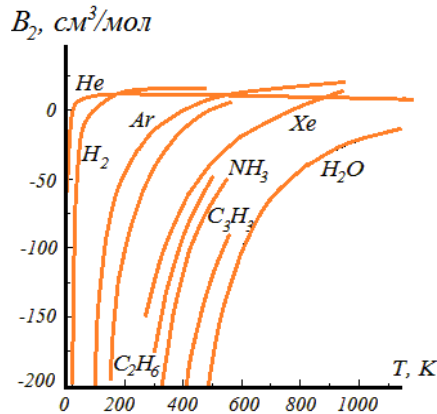
Муодилаи (3.30)-ро соли 1885 Тиссен пешниҳод карда буд. Рушди асосии муодилаҳои вириалӣ соли 1901 дар тадқиқотҳои Камерлинг-Оннес, ки якчанд варианти ин муодиларо таҳлил ва мавҳуми коэффисиентҳои вириалиро дохил намудааст, ибтидо меёбад. Қимати илмиаш дар он аст, ки ягона муодилаест, ки асоси назариявии аниқ дорад. Коэффисиентҳои вириалӣ бо қувваи ҳамтаъсироти молекулаҳо ифода карда мешавад. Масалан, коэффисиенти вириалии дуюм таъсироти чуфт, сеюм-сегона ва ғ. Ҳамин тавр муодилаи вириалии ҳолат имкон медиҳад, ки хосиятҳои газ аз диди ҳамтаъсироти молекулавӣ маънидод карда шаванд. Барои баъзе масъалаҳо муодилаи вириалиро ҳамчун қатори  $P$  истифода мебаранд:

$$PV_m = RT(1 + B_2P + B_3P^2 + \dots) \quad (3.31)$$

Аз ин ҷо бармеояд, ки муодилаи ҳолати гази идеалӣ танҳо аъзои якуми муодилаи вириалиро ташкил медиҳад.

Дар расми 3.15 вобастагии коэффисиенти вириалии дуюм ба температура барои баъзе газҳо тасвир ёфтааст. Дар температураҳои паст  $B_2 < 0$  бо афзудани температура қимати он аз сифр мегузарад, баъд мусбат мешаваду ба максимум расида, баъд охишта кам мешавад. Дар температураҳои ба-

ланд коэффисиентҳои вириалӣ ба сифр майл менамоянд. Температурае, ки дар он  $B_2 = 0$  мешавад, температураи Бойл  $T_B$  меноманд. Ин номро чунин маънидод менамоянд:



Расми 3.15.

Бузургии  $dZ/dp$ , яъне моилии қачии вобастагии омили фишурдашавӣ  $Z$  аз  $P$ -ро муҳокима менамоем. Барои гази идеалӣ  $dZ/dp = 0$  (чунки  $Z = 1$  барои ҳамаи фишорҳо), аммо барои гази реалӣ

$$\frac{dZ}{dP} = B'_2 + 2PB'_3 + \dots \rightarrow B'_2 \quad \text{ҳангоми } P \rightarrow 0. \quad (3.32)$$

Азбаски баъзе ҳосиятҳои газҳо ба ҳосила низ вобаста аст, ҳатто дар фишорҳои ниҳоят паст ҳам рафтори гази реалӣ назар ба идеалӣ фарқ мекунад. Айнан ҳамин тавр аз муодилаи (3.31) бармеояд, ки

$$\frac{dZ}{d(1/V_m)} \rightarrow B_2 \quad (3.33)$$

асту ҳангоми  $V_m \rightarrow 1$  (ба  $P \rightarrow 0$  мувофиқ меояд).

Дар температураи Бойл  $B_2 = 0$  ва мувофиқан  $dZ/dp \rightarrow 0$ , яъне фишурдашавии газ ба фишор вобаста нест, ба монанди газҳое, ки ба қонуни Бойл итоат мекунад. Ҳамин тавр, аз муодилаи (3.30) бармеояд, ки  $pV_m = RT_B$  назар ба температураҳои дигар дар ҳудуди васеътари фишор иҷро мешавад, чунки дар муодилаи (3.30) аъзои якум баъди 1 (яъне,  $B_2/V_m$ ) баробари сифр аст қимати аъзоҳои боқимонда ниҳоят хурданд. Температураи Бойл барои баъзе газҳо дар ҷадвали 3.3 оварда шудааст.

Муодилаи Ван-дер-Ваалсро дар намуди вириалӣ ҳосил мекунем. Барои ин муодиларо дар намуди зерин меоварем:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)V \left(1 - \frac{b}{V}\right) = RT \quad \text{ва} \quad PV + \frac{a}{V} = \frac{RT}{1 - \frac{b}{V}} \quad (3.34)$$

Азбаски  $\frac{b}{V} \ll 1$  аст, онро ба қатор паҳн карда то  $n=2$ -ро ба назар мегирем:

$$\frac{1}{1 - \frac{b}{V}} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{b}{V}\right)^n = 1 + \frac{b}{V} + \frac{b^2}{V^2}.$$

Ба муодилаи (3.34) гузошта чунин ифодаро ҳосил мекунем:

$$PV = RT - \frac{a}{V} + \frac{RTb}{V} + \frac{RTb^2}{V^2}, \text{ ё ки}$$

$$PV = RT + \frac{RTb - a}{V} + \frac{RTb^2}{V^2}. \quad (3.35)$$

Ин ифода муодилаи вириалии Ван-дер-Ваалс ба ҳисоб меравад.

Доимиҳои муодилаи Ван-дер-Ваалсро бо коэффисиентҳои вириалии муодилаи ҳолат тақрибан ифода намудан мумкин аст. Барои ин муодилаи Ван-дер-Ваалсро ба қатор паҳн намудан кофист. Мувофиқи муодилаи Ван-дер-Ваалс коэффисиенти вириалии дуюм ба:

$$B_2 = b - \frac{a}{RT} \quad (3.36)$$

баробар аст ва коэффисиентҳои боқимонда ба температура вобаста нестанд:  $B_n = b^{n-1}$ .

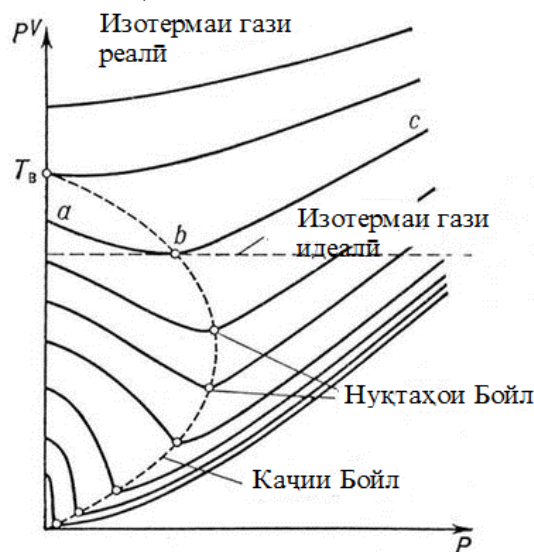
Ҳамин тавр, муодилаи Ван-дер-Ваалс сифатан дар температураҳои паст вобастагии коэффисиенти вириалии дуюмро ба температура дуруст ифода менамояд (дар температураҳои паст  $B_2 < 0$ , бо афзудани температура зиёд мешаваду аз сифр боло мусбат). Дар оянда баъди максимум камшавии  $B_2$ -ро фаҳмонида наметавонад ва қимати худудии  $B_2$ -ро ҳангоми  $T \rightarrow \infty$  нодуруст меदिҳад. Муодилаи Ван-дер-Ваалсро барои муайян кардани коэффисиентҳои боқимонда истифода бурдан номумкин аст. Аз муодилаи (3.34) ифодаро барои температураи Бойл мувофиқи муодилаи Ван-дер-Ваалс ҳосил намуда метавонем:

$$T_B = \frac{a}{Rb}. \quad (3.37)$$

Аз муодилаҳои (3.28) ва (3.37) таносуби байни температураи Бойл ва температураи критикиро ҳосил менамоем:

$$\frac{T_B}{T_K} = \frac{27}{8} = 3,375. \quad (3.38)$$

Ин бузургиро бо қиматҳои тақрибавӣ барои газҳои гуногун муқоиса намудан мумкин аст (ҷадвали 3.3).



Ҷадвали 3.3 Параметрҳои критикӣ ва температураи Бойл

Газ	$T_k, K$	$P_k, \text{бар}$	$V_k, 10^{-6} \text{ м}^3 \text{ мол}^{-1}$	$Z_k$	$T_B, K$	$T_B/T_k$
He	5,21	2,27	57,76	0,305	22,64	4,35
Ne	44,44	26,9	41,74	0,307	122,1	2,75
Ar	150,72	48,0	75,25	0,292	411,5	2,73
Kr	209,4	54,3	92,24	0,291	575,0	2,75
Xe	289,75	58,0	118,8	0,290	768,0	2,65
H <sub>2</sub>	33,3	13,0	65,0	0,306	110,0	3,30
N <sub>2</sub>	126,1	34,0	89,5	0,292	327,2	2,60
O <sub>2</sub>	154,4	50,5	73,4	0,292	405,9	2,63
CO <sub>2</sub>	304,2	73,8	94,0	0,274	714,8	2,35
CH <sub>4</sub>	190,7	46,0	99,0	0,287	510,0	2,67
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	282,4	50,4	129,0	0,277	624	2,21

Дар намуди умумитар Н. Н. Боголюбов бо методи физикаи статистикӣ муодилаи ҳолатро ҳосил кардааст:

$$pV = RT \left( 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{K}{K+1} \cdot \frac{\beta_k}{V^k} \right). \quad (3.39)$$

Ин ҷо  $\beta_k$  – коэффисиентҳои вириалӣ, ки танҳо функсияи температура мебошанд. Аз муодилаи Боголюбов бармеояд, ки ҳар қадар бузургии ҳаҷми молӣ  $V$  зиёд бошад, барои ҳосил кардани натиҷаи дақиқ ҳамон қадар адади ками аъзоҳои қаторро ба назар гирифтани лозим меояд. Ҳангоми  $V \rightarrow \infty$  ҳамаи аъзоҳои қатор ба сифр баробар мешаванду муодилаи (3.38) намуди  $pV = RT$ -ро мегирад. Коэффисиентҳои вириалиро  $\beta_k$  бо методҳои назариявӣ ҳисоб кардан номумкин аст, аз ин сабаб, онҳоро мувофиқи бузургҳои таҷрибавӣ муайян менамоянд. Аммо ин масъала ҳамон қадар душвор аст, ки муодилаи ҳолатро дар намуди формулаи интерполясионӣ ҳосил намоем, ки бузургии таҷрибавиро ифода карда тавонад, ба мақсад мувофиқтар аст.

Доимии универсалии газҳо дар нуқтаи критикӣ аз 8,31 кам ва дар нуқтаи критикӣ дар як мол газ адади структуравӣ аз  $N_A$  кам аст, чунки молекулаҳо яқоя шуда комплексҳоро ҳосил мекунанд. Аз нуқтаи критикӣ дуртар қимати  $R$  ба 8,31 баробар мешавад. Дар наздикии нуқтаи критикӣ барои ҳар як газ доимиҳои худашро истифода бурдан даркор аст. Дар



ҷадвали 3.4 барои баъзе газҳо қиматҳои  $V$ ,  $T$  ва  $P$  дар нуқтаи критикӣ оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.4

Газ	$P_k, 10^6 \text{ Па}$	$V_k, 10^{-5} \text{ м}^3/\text{мол}$	$T_k, \text{ К}$	$a, \text{ Па м}^6/\text{мол}^2$	$b, 10^{-5} \text{ м}^3/\text{мол}$	$R/N_A k$
HCl	8,428	6,0	324,6	0,0903	2,0	0,469
H <sub>2</sub>	1,294	6,5	33,2	0,0190	2,2	0,813
He	0,229	5,8	5,2	0,00343	2,4	0,821
H <sub>2</sub> O	22,05	5,5	647,3	0,5537	3,1	0,602
O <sub>2</sub>	5,037	7,5	154,3	0,1372	3,2	0,768
N <sub>2</sub>	3,410	9,0	126,0	0,1362	3,9	0,782
CO <sub>2</sub>	7,350	9,6	304,1	0,3646	4,3	0,745
Cl <sub>2</sub>	7,708	1,75	417,1			

### 3.7 Қонуни ҳолатҳои мувофиқ

Азбаски доимиҳои критикӣ тавсифи хосияти газҳо мебошанд, онҳоро барои тартибдиҳии шкалаи нисбии мувофиқ истифода бурдан мумкин аст. Барои ин тағйирёбандаҳои бевоҳиди овардашударо дохил намудан лозим меояд. Доимиҳои Ван-дер-Ваалс ва  $R$ -ро бо параметрҳои критикӣ ифода карда муодилаи овардашуда (бадали)-ро ҳосил намудан мумкин аст:

$$\left(P + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT; \quad \left(P + \frac{3P_k V_k^2}{V_m^2}\right)\left(V_m - \frac{V_k}{3}\right) = \frac{P_k V_k}{3T_k};$$

$$P_k \left(\frac{P}{P_k} + 3\frac{V_k^2}{V_m^2}\right) V_k \left(\frac{V_m}{V_k} - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3} P_k V_k \frac{T}{T_k}.$$

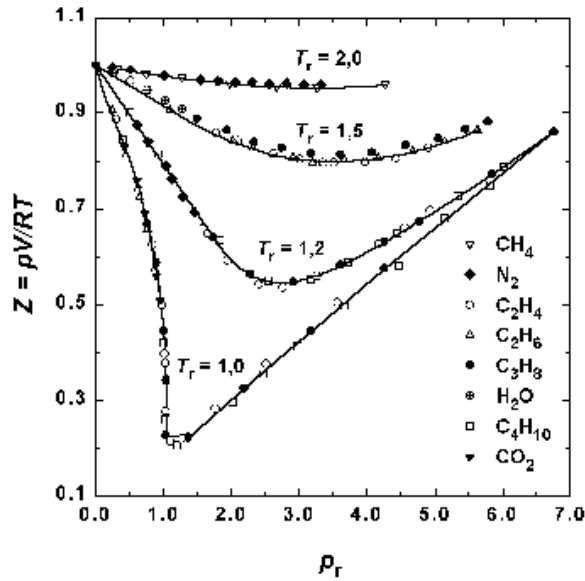
Бузургҳои овардашудаи бевоҳидро дохил мекунем:

$$\frac{P}{P_k} = P_0; \quad \frac{V}{V_k} = V_0; \quad \frac{T}{T_k} = T_0$$

$$\left(P_0 + \frac{3}{V_0^2}\right)\left(V_0 - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3} T_0 \quad (3.40)$$

Ин муодила нишон медиҳад, ки барои ҳамаи газҳо қонуниятҳои якхела вуҷуд дорад. Аз он истифода бурда температураи ба моеъ мубаддалшавии гидрогенро пешгӯӣ кардаанд. Аз муодилаи (3.40) бармеояд, ки агар барои ду газ ду параметри овардашуда якандоза бошанд, он гоҳ ҳатман сеюмаш ҳам баробар ҳисоб меёбад.

Дар амал қонуни ҳолатҳои мувофиқ барои моддаҳои якнамуд ҳам тақрибӣ иҷро мешавад ва он имконият медиҳад, ки масалан барои газҳои реалӣ диаграммаи умумикардашудаи фишурдашавӣ истифода бурда шавад. Дар расми 3.16 вобастагии омили фишурдашавии баъзе газҳо ба фишори овардашуда барои температураҳои овардашудаи гуногун тасвир ёфтааст.



Расми 3.16

Нишон додан мумкин аст, ки муодилаи ҳолати дилхоҳро, ки се тағйирёбанда дорад, дар намуди овардашуда тасвир намудан мумкин аст. Дар ҷадвали 3.5 муодилаҳои маъмули ҳолат гирд оварда шудаанд. Барои кадоме, ки се параметр дорад, намуди овардашудааш низ тасвир ёфтааст.

Муодилаи Ван-дер-Ваалс сифатан ҳолати гази реалиро дуруст тавсиф мекунад, аммо аз ҷиҳати миқдорӣ бо натиҷаҳои таҷрибаҳо баъзе номувофиқатиҳо мушоҳида мешавад:

1) Доимӣҳои **a** ва **b** барои гази додашуда бояд доимӣ монанд. Дар асл барои ҳар як изотерма доимии **a** ва **b**-ро интихоб кардан лозим мешавад. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки бузургиҳои *a* ва *b* барои ҳамон як газ доимӣ намонда, бо тағйирёбии температура суст дигар мешаванд. Дар ҳисобкуниҳое, ки муодилаи Ван-дер-Ваалс истифода мешавад, ба сифати доимӣҳои *a* ва *b* қимати миёнаи функсияҳои  $a(T)$  ва  $b(T)$  дар ҳудуди даркории температураро ( $T_1, T_2$ ) истифода мебаранд.

$$\langle a \rangle = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} a(T) dT, \quad \langle b \rangle = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} b(T) dT.$$

2) Бузургии  $\frac{P_{\kappa} V_{\kappa}}{RT_{\kappa}} = \frac{3}{8} = 0,375$  бояд барои ҳамаи газҳо доимӣ бошад.

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки ин бузургӣ барои бугҳои об 0,23, барои гелий 0,331 аст. Ҷи қадаре ки газ сабук бошад, ҳамон қадар мувофиқат бо таҷриба беҳтар аст. Аз ин сабаб, температураи моеъ гардонидани гидроген ва гелийро аниқ пешгӯӣ карда буданд.

Газ	H <sub>2</sub>	He	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
-----	----------------	----	----------------	----------------	------------------	-----------------

$K_k=R \cdot T_k/(P_k \cdot V_k)$	3,03	3,13	3,42	3,42	4,46	4,49
-----------------------------------	------	------	------	------	------	------

3) Бояд ки  $V_k=3b$  бошад, аммо дар амал  $V_k=2b$  мешавад.

4) Муодилаи Ван-дер-Ваалс барои ҳолати дуфазагӣ татбиқ наша-  
вандааст.

Муодилаи ҳолати гази реалӣ ба намуди ҳамтаъсиротии молекулаҳо  
вобаста аст. Барои ҳар як гурӯҳи газҳо муодилаи ҳолати ягона вучуд до-  
рад.

Энергияи  $E_d$  дохилии гази реалӣ ба суммаи энергияи кинетикии ҳара-  
кати бетартибонаи молекулаҳо ва энергияи потенциалии таъсири му-  
тақобилаи онҳо баробар аст. Энергияи потенциалӣ ададан ба коре баробар  
аст, ки ба муқобили қувваи ҷозибаи байни молекулаҳо иҷро кардан лозим  
аст, то онҳоро аз ҳамдигарашон ба беохир дур намоем.

$$U = C_v T + \int_{\infty}^V \frac{a}{V^2} dV \qquad U = C_v T - \frac{a}{V}.$$

### § 3.8 Муодилаҳои ҳолати гази реалӣ

Барои газҳои реалӣ муодилаҳои зиёди ҳолат вучуд дорад. Барои  
худудҳои васеи тағйирёбии параметрҳои ҳолат, ғайр аз муодилаи Ван-дер-  
Ваалс, боз як қатор дигар муодилаҳои ҳолат мавҷуданд, ки назариявӣ, ё ки  
дар асоси натиҷаҳои таҷриба (эмпирикӣ) ҳосил карда шудаанд. Баъзеи ин  
муодилаҳо танҳо дар соҳаи начандон васеи бузургҳои температура ва  
зичӣ натиҷаҳои таҷрибаро аниқ ифода мекунанду дигарҳо барои ифодаи  
ҳам ҳолати газӣ ва ҳам ҳолати моеъ татбиқшавандаанд. Муодилаҳои эмпи-  
рикӣ (таҷрибавӣ) натиҷаҳои таҷрибаро аниқ ифода карда тавонанд ҳам,  
норасогии онҳо ин аст, ки танҳо барои моддаи додасуда татбиқшаванда-  
анд.

Дар мавзӯи гузашта мо муодилаи нимэмпирикии Ван-дер-Ваалсро бо  
ду доимӣ ( $a$  ва  $b$ ) муоина намудем. Ба ин гурӯҳи муодилаҳои ду доимӣ до-  
шта, инчунин, муодилаҳои зерин ҳам мансубанд.

Муодилаи Бертелло:

$$\left(P + \frac{a}{TV_m^2}\right)(V_m - b) = RT. \qquad (3.41)$$

Муодилаи Дитеричи:

$$\left(Pe^{\frac{a}{RTV_m}}\right)(V_m - b) = RT. \qquad (3.42)$$

Яке аз муодилаҳои дақиқи ҳолат барои газҳо то фишори  $250 \cdot 10^5$  Па  
муодилаи ҳолати Битти-Бричмен ба ҳисоб меравад:

$$PV_m^2 = RT \left(1 - \frac{c}{V_m T^2}\right) \left(V_m + B_0 - \frac{bB_0}{V_m}\right) - A_0 \left(1 - \frac{a}{V_m}\right). \qquad (3.43)$$

Бузургии ин панҷ параметри эмпирикӣ  $A_0, B_0, a, b, c$  барои аксарияти  
газҳо муайян карда шудааст. Барои фишорҳои ниҳоят баланд муодилаи  
Битти-Бричмен натиҷаи қаноатбахш намедихад.

Дар замони ҳозира барои саҳеҳ ифода кардани хосияти газҳо муодилаи эмпирикии Бенедикт – Вебб – Рубинро истифода мебаранд ( $\rho$ - зичии газ):

$$P = RT\rho - \left( B_0RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) \rho^2 + (bRT - a)\rho^3 + a\alpha\rho^6 + \left[ \frac{(1 + \gamma\rho^2)c\rho^3}{T^3} \right] \exp(-\gamma\rho^2)$$

Соли 1939 олимони рус М. Н. Вукалович ва И. И. Новиков назариявӣ муодилаи ҳолати моддаро пешниҳод намуданд, ки ҳолати гази реалии дилхоҳро дуруст инъикос менамояд. Дар он ғайр аз қувваи ҳамтаъсири молекулаҳо ва ҳаҷми хусусии молекулаҳо, инчунин, ассотсиатсияи (муттаҳидшавии) молекулаҳо ба эътибор гирифта шудааст, яъне ду, се ва аз он зиёд молекулаҳо муттаҳид шуда, пайвастагиҳои мураккабро ҳосил менамоянд. Агар ассотсиатсияи молекулаҳоро дар гази реалӣ ба назар гирем, ин газ якчинса набуда, аз омехтаи газҳо, ки аз молекулаҳои алоҳида, ҷуфти молекулаҳо, сегонаи молекулаҳо ва дигар ассотсиатҳо таркиб ёфтааст, иборат мебошад. Муодилаи ҳолати гази реалии Вукалович-Новиков дар намуди умумӣ чунин навишта мешавад:

$$\left( P + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT \left( 1 - \frac{c}{V_m T^{\frac{3+2m}{2}}} \right). \quad (3.44)$$

Ин ҷо  $a$  ва  $b$  – доимҳои муодилаи Ван-дер-Ваалс,  $m$  ва  $C$ - доимӣҳое, ки аз таҷриба муайян карда мешаванд. Барои буғи оби тафсон  $a=620 \text{ Н м}^4/\text{кг}^2$ ;  $b=0,0009 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $C$ - собите, ки ба  $405000 \text{ м}^3 \text{ К}/\text{кг}$  баробар аст;  $m=1,968$ -бузургии, ки хосияти молекулаҳои дучанда (ҷуфт)-ро муайян менамояд.

Муодилаи Клаузиус:

$$\left( P + \frac{a}{T \cdot (V+c)^2} \right) \cdot (V-b) = R \cdot T$$

аз ҳисоби дохилкунии параметри сеюм мувофиқат бо таҷриба беҳтар мешавад.

Муодилаи Камерлинг-Оннес:

$$P \cdot V = R \cdot T \left( 1 + B_2(T)/V + B_3(T)/V^2 + \dots \right). \quad (3.45)$$

Ин ҷо  $B_2, B_3, \dots$ - коэффисентҳои вириалии дуюм, сеюм ва ғ. Муодилаи ҳолати гази дилхоҳро ба ин намуд овардан имконпазир аст.

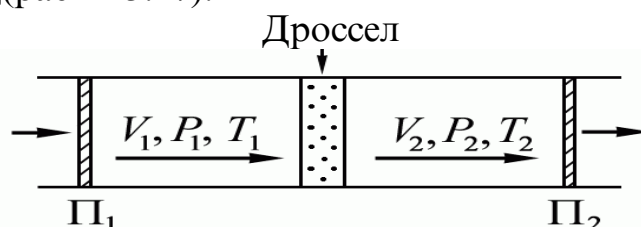
Ҷадвали 3.5 Баъзе муодилаҳои ҳолати гази реалӣ

Муодила	Намуди умумӣ	Намуди овардашуда	$P_K$	$T_K$	$V_K$	$Z_K$
Ван-дер-Ваалс (1873)	$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$	$P_r = \frac{8T_r}{3V_r - 1} - \frac{3}{V_r^2}$	$\frac{a}{27b^2}$	$\frac{8a}{27bR}$	3b	$\frac{3}{8} = 0,375$
Дитерич (1898)	$P = \frac{RTe^{-a/RTV}}{V-b}$	$P_r = \frac{T_r e^{2-2/T_r V_r}}{2V_r - 1}$	$\frac{a}{4e^2 b^2}$	$\frac{a}{4Rb}$	2b	$\frac{2}{e^2} = 0,271$

Бертло (1900)	$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{TV^2}$	$p_r = \frac{8T_r}{3V_r - 1} - \frac{3}{T_r V_r^2}$	$\frac{1}{12} \left( \frac{2aR}{3b^3} \right)^{\frac{1}{2}}$	$\frac{2}{3} \left( \frac{2a}{3bR} \right)^{\frac{1}{2}}$	3b	$\frac{3}{8} = 0,375$
Битти-Бриджмен (1927)	$p = \frac{(1-\gamma)RT(V+\beta) - \alpha}{V^2}$ ин чо $\alpha = a_0 \left( 1 + \frac{a}{V} \right)$ $\beta = b_0 \left( 1 - \frac{b}{V} \right)$ $\gamma = \frac{c_0}{VT^2}$					
Вириалӣ (1901) (Каммерлинг-Оннес)	$p = \frac{RT}{V} \left\{ 1 + \frac{B_2(T)}{V} + \frac{B_3(T)}{V^2} + \dots \right\}$					

### § 3.9 Эффе́кти Жоул-Томсон

Бигузур дар найча газ бошад ва бо ягон маводи ковок (масомадор)-и гармигузарониаш кам, ки молекулаҳои газ аз он гузашта тавонанд, чудо карда шуда бошад (расми 3.17).



Расми 3.17

Агар  $P_1 > P_2$  бошад, он гоҳ молекулаҳо аз қисми фишораш калон ба қисми фишораш кам мегузаранд. Барои он ки фишор доимӣ монад, поршени якумро ( $\Pi_1$ ) ба дохили найча ва поршени дуюмро ( $\Pi_2$ ) ба тарафи берун кӯчондан лозим меояд. Агар гази идеалӣ бошад, мувофиқи қонуни Бойл-Мариотт  $P_1 \Delta V_1 = P_2 \Delta V_2$  мешавад ва температураи газ тағйир намеёбад. Ҳар қадар ки молекулаҳо ба ҳамдигар наздик бошанд, таъсири мутақобилашон зиёд аст. Масофаи байни молекулаҳо ба консентратсия  $n$  ва температура  $T$  вобаста аст. Бо афзудани  $n$  ва  $T$  масофаи байни молекулаҳо кам мешавад. Агар масофаи байни молекулаҳо аз  $r_0$  хурд бошад (расми 3.6), ҳангоми васеъшавӣ, газ гарм мешавад. Агар аз  $r_0$  калон бошад, ҳангоми васеъшавӣ, газ сард мешавад. Агар тағйирёбии масофаи байни молекулаҳо ниҳоят кам бошад, эффе́кти дифференсиалии Жоул-Томсон меноманд. Дар эффе́кти Жоул-Томсон фишор доимӣ аст ва протсесс бе мубодилаи гармӣ мегузарад:

$$\Delta U_1 + P_1 \Delta V_1 = \Delta U_2 + P_2 \Delta V_2, \quad \Delta H = 0, \quad H = \text{const} \quad (3.46)$$

Аз ин ҷо эффекти Ҷоул-Томсон ҳангоми доимӣ будани энталпия мегузарад. Бигузур энталпия функцияи фишор ва температура бошад  $H = H(P, T)$ . Тағйироти пурраи энталпия баробари сифр аст:

$$dH = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP = 0 \quad (3.47)$$

$\left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = C_p$  ва  $\left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T = V - T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$  буданаширо ба назар гирифта, ифодаҳои зеринро пешниҳод карда метавонем:

$$C_p dT - \left[ T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] dP = 0. \quad (3.48)$$

$$\text{Ё ки} \quad C_p dT = \left[ T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] dP. \quad (3.49)$$

Формулаи (3.49)-ро ба назар гирифта чунин таносубро ҳосил менамоем:

$$\left( \frac{dT}{dP} \right)_H = \frac{1}{C_p} \left[ T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] \quad (3.50)$$

Ифодаи (3.50) формулаи эффекти дифференсиалии Ҷоул-Томсон мебошад. Агар газ идеалӣ бошад,  $PV = RT$   $PdV = RdT$   $\left( \frac{dT}{dP} \right)_H = 0$ . Дар газҳои идеалӣ эффекти Ҷоул-Томсон ҷой надорад. Барои эффекти интегралиро ҳисоб кардан ҳамаи тағйирёбиҳои хурдро ҳамчун кардан лозим аст.

$$T_2 - T_1 = \frac{1}{C_p} \int_{P_1}^{P_2} \left[ T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right] dP \quad (3.51)$$

Формулаи (3.51) формулаи эффекти интегралии Ҷоул-Томсон мебошад.

Эффекти дифференсиалии Ҷоул-Томсонро барои газҳои реалие, ки ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекунанд, ҳосил менамоем. Дар муодилаи вириалии Ван-дер-Ваалс танҳо дараҷаи якуми доимӣҳои  $a$  ва  $b$ -ро ба назар мегирем.

$$\begin{aligned} PV &= RT + \frac{RTb - a}{V}; & V &= \frac{RT}{P} + \frac{RTb - a}{PV} = \frac{RT}{P} + \frac{RTb - a}{RT}; \\ V &= \frac{RT}{P} + b - \frac{a}{RT}; & \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P &= \frac{R}{P} + \frac{a}{RT^2}; \\ \left( \frac{dT}{dP} \right)_H &= \frac{1}{C_p} \left[ \frac{RT}{P} + \frac{a}{RT} - \frac{RT}{P} - b + \frac{a}{RT} \right]; \\ \left( \frac{dT}{dP} \right)_H &= \frac{1}{C_p} \left( \frac{2a}{RT} - b \right). \end{aligned} \quad (3.52)$$

Дар температураҳои ниҳоят паст  $\frac{2a}{RT} \gg b$  ва  $\left(\frac{dT}{dP}\right)_H \gg 0$ , баръакс дар температураҳои ниҳоят баланд:  $\frac{2a}{RT} \ll b$  ва  $\left(\frac{dT}{dP}\right)_H \ll 0$  мебошанд.

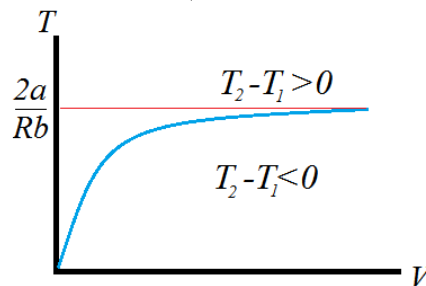
Температурае, ки дар он эффекти дифференсиали баробари сифр мешавад, температураи инверсия меноманд.

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_H = 0, \quad \frac{2a}{RT} - b = 0, \quad T_u = \frac{2a}{Rb}$$

Барои эффекти интегралиро дарёфттан фарз мекунем, ки дар ибтидо газ реалӣ, баъди васеъ гардидан ба хосиятҳои гази идеалӣ наздик мешавад:

$$\begin{aligned} C_V T - \frac{a}{V} + PV &= C_V T' + P'V'; & C_V T - \frac{a}{V} + PV &= C_V T' + RT'; \\ C_V T - \frac{a}{V} + PV &= C_p T'; & \left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) &= RT; \\ PV &= \frac{RTV}{V-b} - \frac{a}{V}; & PV &= RT + \frac{RTb}{V-b} - \frac{a}{V}; \\ C_V T - \frac{a}{V} + RT - \frac{a}{V} + \frac{RTb}{V-b} &= C_p T'; & C_p T - \frac{2a}{V} + \frac{RTb}{V-b} &= C_p T'; \\ C_p (T' - T) &= \frac{RTb}{V-b} - \frac{2a}{V}; & \Delta T &= \frac{1}{C_p} \left[ \frac{RTb}{V-b} - \frac{2a}{V} \right]; \\ T_u &= \frac{2a}{Rb} \left(1 - \frac{b}{V}\right). \end{aligned} \quad (3.53)$$

Агар молекулаҳои як мол газро зич ҷойгир кунем, ҳаҷмашон ба  $b$  баробар мешавад, яъне доимии Ван-дер-Ваалс  $b$  ба ҳаҷми як мол гази зич ҷойгиршуда баробар аст. Ҳаҷми хурдтарине, ки як мол газ ишғол карда метавонад, ба  $b$  баробар аст. Барои аксарияти газҳо (масалан, оксиген, нитроген) температураи инверсия назар ба температураи муътадил баланд асту ҳангоми васеъшавӣ онҳо хунук мешаванд. Барои гидроген ва гелий температураи инверсия паст аст ва ҳангоми васеъшавӣ гарм мешаванд.



Расми 3.18

Ба тарзи адиабатӣ васеъшавии гази Ван-дер-Ваалсиро дар вакуум муҳокима менамоем. Дар ин маврид дар қонуни якуми термодинамика  $A=0$  ва  $Q=0$  аст. Он гоҳ  $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$ , яъне  $U_1 = U_2$ ,

$$C_V T_1 - \frac{va}{V_1} = C_V T_2 - \frac{va}{V_2}$$

мешавад. Аз ин ҷо тағйироти температура:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{va}{C_V} \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) < 0,$$

буданаш маълум мегардад, зеро  $V_2 > V_1$  аст. Ҳамин тавр гази Ван-дер-Ваалсӣ ҳангоми васеъшавӣ дар вакуум хунук мешавад (расми 3.18). Дар ин протсес аз ҳисоби энергияи кинетикӣ ба муқобили қувваи ҷозибаи байни молекулаҳо кор иҷро мешавад.

Температураи инверсия бо температураи критикӣ чунин вобаста аст:  $T_i \cong 6,75T_k$ . Аз ин ифода бармеояд, ки барои ҳамаи моддаҳо температураи инверсия назар ба температураи критикӣ ҳамеша баланд аст.

Бузургии таҷрибавии температураи инверсия барои баъзе моддаҳо чунин аст: барои гази туршии карбон – 1500 К, оксиген – 893 К, нитроген – 621 К, ҳаво – 603 К, гидроген – 204 К, гелий – 40 К. Ба ғайр аз гидроген ва гелий барои дигар газҳо температураи инверсия аз температураи мӯътадил баланд аст. Аз ин сабаб ин газҳо дар температураи мӯътадил ҳангоми дроссел-эффект хунук мешаванду гидрогену гелий гарм мешаванд. Дар хотима бояд қайд кард, ки протсеси Ҷоулу Томсон бебозгашт аст. Аз шарти

$dH = 0$  бармеояд, ки  $dS = -\frac{V}{T} dp$ . Азбаски  $dp < 0$  аст,  $dS > 0$  мешавад, ки он нишони бтбозгаштии ин протсес мебошад.

### § 3.10 Моеъгардонии газҳо

Барои ба моеъ мубадал кардани газҳо температураи онҳо бояд, ки назар ба температураи критикӣ пасттар бошад. Азбаски фишори критикӣ паст мебошад, беҳтар аст газҳоро аз температураи критикӣ поён сард карда, дар фишори атмосферӣ онҳоро ба моеъ мубадал намоем. Дар ҷадвали зерин барои баъзе газҳо температураҳои критикӣ ва моеъгардонӣ оварда шудааст.

Газ	$T_k$ , К	$T$ , К
Гелий (He)	5,3	4,4
Гидроген (H <sub>2</sub> )	33	20,5
Нитроген (N <sub>2</sub> )	126,1	77,4
Оксиген (O <sub>2</sub> )	154,4	90

Газҳоро бо ду усул сард гардонидан мумкин аст: адиабатӣ васеъ кардан ё ки бо истифода аз эффекти Ҷоул-Томсон.

Аксар вақт ҳарду усулро истифода мебаранд. Ягон ҳиссаи газро адиабатӣ васеъ мекунанд, он сард мешавад ва онро барои сардгардонии ҳиссаи дигари газ истифода мебаранд. Баъд гази сардшударо адиабатӣ васеъ мекунанд дар натиҷа боз сардтар мешавад. Аксар вақт гази сардгаштаре ба пешвози гази рӯ ба рӯ ҷоришаванда мефиристанд, баъд гази сардро бо методи васеъкунии адиабатӣ, ё ки бо ёрии эффекти Ҷоул-Томсон темпе-



ратураашро боз ҳам пасттар мефуроранд. Ин методро методи мубодилаи пешвозӣ-бархӯрдӣ меноманд. Асбоберо, ки дар он ин ҳодиса ба амал меояд, гармиивазкунак, асбобе, ки дар он дар натиҷаи васеъшавии адиабатӣ газ хунук мешавад детандер ва асбобе, ки дар он газ фишурда мешавад, компрессор меноманд.

Роҳи дигари сардгардонӣ то фишорҳои баланд газро фишурда баъд имкон медиҳанд, ки температурааш ба температураи муҳити атроф баробар шавад. Ба воситаи гази дигар онро сард мекунанд. Баъд аз он то фишори атмосферӣ адиабатӣ, ё ки ба воситаи эффекти Ҷоул-Томсон васеъ карда газро боз ҳам сардтар мегардонанд. Ба воситаи газҳои моеъшуда газҳои дигарро то ҳамон температура сард кардан мумкин аст. Вақте ки моеъ ба ҳолати сахтӣ мегузарад, мубодилаи гармӣ суст мешавад. Аз ин сабаб, ҳар як газро дар ҳудуди муайяни температура барои сардгардонӣ истифода бурдан мумкин аст. Дар фишори атмосферӣ нитрогенро дар ҳудуди аз 63,14 то 77,32 К, оксигенро аз 54,36 то 90,12 К, гидрогенро аз 14,04 то 20,39 К ва гелиро аз 0,7 К то 4,21 К барои сардгардонӣ истифода мекунанд. Гелиро танҳо дар фишори 0,293 Па истифода бурдан мумкин аст.

Температураи пасттарине, ки бо ин роҳ ҳосил карда мешавад, 0,7 К мебошад. Температураи аз ин пасттарро бо роҳи сардгардонии магнитӣ ҳосил кардан мумкин аст. Барои ин намакҳои парамагнетикиро гирифта дар майдони магнитӣ ҷойгир менамоем. Ҳангоми зиёд шудани шадидияти майдон моментҳои магнитии хусусӣ ба самти майдон ориентатсия (моил) мешаванд. Дар натиҷа энтропияи ба ориентатсия вобастабуда кам мешаваду қисми ба ҳаракат вобаста будааш меафзояд, яъне парамагнетик гарм мешавад. Онро дар дохили гелии моеъ ҷойгир карда температураашро то 0,7 К паст мекунанд. Баъд аз он таъсири майдонро барҳам медиҳанд. Ориентатсияи парамагнетикҳо вайрон мешавад. Дар натиҷа энтропияи ба ориентатсия вобаста зиёд мешаваду энтропияи ба ҳаракат вобаста кам мешавад, яъне система боз сардтар мешавад. Ин системаи сардшударо барои сардгардонии системаи дигар истифода бурда, дар майдони магнитӣ ин амалҳоро такрор карда, температураҳои боз ҳам пасттарро ҳосил кардан мумкин аст. Ҳоло бо методи сардгардонии магнитӣ температураи то  $10^{-3}$  К ҳосил кардан мумкин аст. Ҳангоми такроран гузаронидани ин протсессҳо ҳар дафъа зинаи пастшавии температура кам шудан мегирад. Аз ин ҷо ба хулосае омаданд, ки ба воситаи такрори охиринок 0 К-ро ҳосил кардан мумкин нест. Ин хулоса чун яке аз таърифҳои қонуни сеюми термодинамика ҳисоб меёбад. Дар температураҳои ба 0 К наздик хосиятҳои физикавии система тағйир меёбад. Азбаски энергияи дохилӣ функсияи бефосилаи температура аст, бо пастшавии температура энергияи дохилӣ кам ва дар 0 К ба қимати минималии худ соҳиб мегардад. Аз ин ҷо тамоми система ва қисмҳои алоҳидаи он дар ҳолати энергияи минималӣ, ё ки дар ҳолати асосии худ ҷой мегиранд. Бо пастшавии температура энтропия ҳам кам мешавад ва қимати онро дар 0 К ба сифр баробар қабул кардаанд. Яъне, дар 0 К энтропия ба ҳудуди муайян майл мекунад ва ба параметрҳои ҳолат ( $P, V$ ) вобаста нест. Барои қимати мутлақи энтропияро ҳисоб кардан аз ифодаи

зерин истифода мебарем:  $s = \int_0^T \frac{\delta Q}{T}$ . Қонуни 3-юми термодинамика ме-

фаҳмонад, ки ба 0 К наздик шудан мумкин аст, аммо бо такрори охиринок онро ҳосил кардан номумкин аст. Дар 0 К гармигунҷоишҳо  $C_p$  ва  $C_v$  ба-

робари сифр мешаванд:  $C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{TdS}{dT} = \frac{dS}{d(\ln T)}$ ,  $T \rightarrow 0 \ln T \rightarrow \infty$

$$C=0, C_v=0, C_p=0.$$

Барои ёфтани вобастагии фишор ва ҳаҷм ба температура дар наздикии 0 К аз таносубҳои Максвелл истифода мебарем:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_p = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v; \quad -\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_v = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

Азбаски дар наздикии 0 К энтропия ба параметрҳои ҳолат вобаста нест,

$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = 0$ ,  $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = 0$  ҳисоб меёбад. Аз ин ҷо:  $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = 0$  ва  $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = 0$  ме-

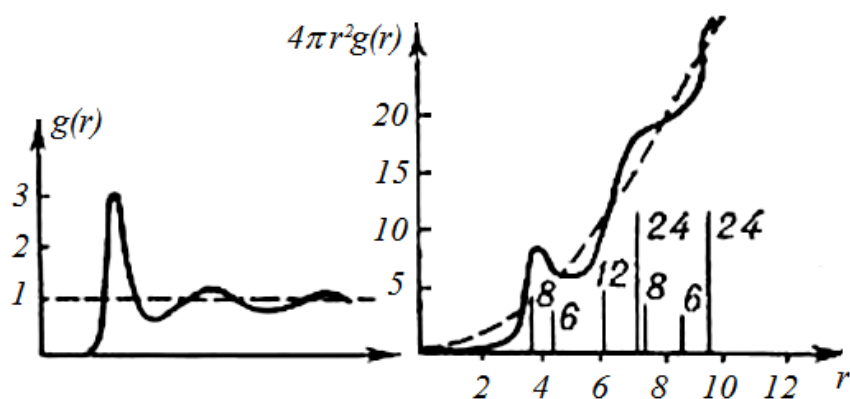
шаванд.

Дар наздикии 0 К фишор ва ҳаҷм ба температура вобаста нестанд. Яъне, дар 0 К коэффисиенти васеъшавии ҳаҷмӣ ва коэффисиенти ҳароратии фишор ба сифр майл мекунад.

### 3.11 Хосиятҳои моеъҳо

Соҳаи мавҷудияти моеъҳо байни температураҳои гузариш ба ҳолати сахтӣ (кристаллизатсия) ва гузариш ба ҳолати газӣ (буғшавӣ) воқеъ аст. Моеъҳо бо як қатор хосиятҳои худ ҳам ба ҷисми сахт ва ҳам ба газҳо шабоҳат доранд. Масалан, хосияти изотропӣ ва шакли муайян надоштани моеъҳо онро ба газ, вале зичии зиёд, фишурдашавии кам ва ҳамтаъсири зӯри байни молекулаҳояшон ба ҷисми сахт монанд мекунад. Ғайр аз ин, таҳлили рентгеноструктурӣ муайян намудааст, ки молекулаҳои моеъ бетартиб (хаотикӣ) ҷойгир набуда, балки дар ҳаҷмҳои хурд нисбат ба якдигар бо тартиби муайян ҷой гирифтаанд. Яъне, ҳар як зарраро аз масофаи наздиктарин шумораи муайяни зарраҳои ҳамсоя ихота мекунад. Эҳтимоли дар ин ё он нуқтаи ҳаҷми моеъ воқеъ гардидани чанде аз молекулаҳои он ба мавқеи молекулаҳои дигари моеъ вобаста аст. Чунин робитамандии эҳтимоли ва ҷойгиршавии молекулаҳои моеъ миқдоран бо функцияҳои тақсимот ифода меёбанд. Функцияи тақсимоти радиалӣ  $g(r)$  ҷойгиршавии радиалии зарраҳои моеъи соддаи якҷинсаро ифода мекунад.

Дар расми 3.19. намуди функцияи тақсимоти радиалӣ барои натрийи моеъ (дар воҳидҳои шартӣ) тасвир ёфтааст. Тирча-тирча функцияи  $4\pi r^2 G(r)$ , ҷойгиршавии молекулаҳоро дар мавриди набудани коррелятсия муайян менамояд (газ). Хатҳои вертикалӣ – мавқеи атомҳо дар натрийи кристаллӣ, бо ададҳои координатсионӣ қайд шудаанд.



Расми 3.19.

Агар  $g(r)$  маълум бошад (онро аз тадқиқи парокандашавии афканишоти рентгенӣ, нейтронҳо, электронҳо муайян меkunанд), муодилаи ҳолати моеъ ва тавсифоти кинематикии онро назариявӣ муайян намудан мумкин аст. Лаппишҳои ҳароратии молекулаҳои моеъ аз мавқеи мувозинатӣ бо басомаде ба амал меоянд, ки ба ҳисоби миёна ба басомади лапиши атомҳои кристал наздик буда, амплитудаашон аз  $r_{\text{ӯи}}$  «ҳачми озод», ки молекулаҳои ҳамсоя дар атрофи ҳар як молекула ба вуҷуд оварда метавонанд, муайян карда мешавад. Чунин ҳолатҳои мувозинатии молекулаҳо лаҳзавӣ ва нустуворанд, бинобар он, моеъ ба хосиятҳои худдифузия ва чоришавандагӣ соҳиб аст. Моеъҳо (ғайр аз кристалҳои моеъ ва гелий) фақат як модификатсия доранд. Сатҳҳои ҷудошавии ду фаза (масалан, моеъ ва газ) барои моеъ бо кашиши сатҳӣ характернок аст. Дар ҳудуди се фаза (газ-моеъ-ҷисми сахт) ҳодисаи таркунӣ мушоҳида мешавад.

Моеъ шакли зарферо, ки дар он ҷойгир аст, мегираду ҳаҷмашро нигоҳ медорад. Зичии моеъ дар шароити нормалӣ ( $P=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $T=273 \text{ К}$ ) назар ба зичии ҳолати газиаш тахминан ҳазорҳо маротиба зиёд асту аз зичии ҳолати сахтиаш ҳамагӣ 10% кам аст. Ҷойгиршавии зичи молекулаҳои моеъ нисбат ба газҳо гувоҳи нақши муҳими қувваҳои ҳамтаъсироти молекулаҳо мебошад, ки онро ҳангоми муҳокимаи хосияти дилҳоҳи моеъҳо ба эътибор гирифтани лозим мешавад. Масалан, гармии хоси гудозиши ҷисмҳои сахти кристалӣ назар ба гармии хоси бугшавӣ кам мебошад ва ин нишонаи тағйироти ками қувваи ҳамтаъсироти молекулаҳоро ҳангоми аз ҳолати сахтӣ ба моеъ гузаштан назар ба аз ҳолати моеъ ба газӣ гузаштан мебошад (ҷадвали 3.6 ва 3.7).

Ҷадвали 3.6

Температура ва гармии хоси гудозиш

Модда	Температураи гудозиш, °С	Гармии хоси гудозиш $\lambda$ , кҶ/кг
Алюминий	660,4	393
Ацетон	-94	96
Бензол	5,5	127

Висмут	271	50
Волфрам	3387	185
Германий	958	478
Гелий (P= 2,5 МПа)	-272,2	5,72
Гидроген	-259,14	58,6
Калий	64	60,8
Литий	186	628
Магний	651	373
Мис	1084,5	213
Натрий	98	113
Нафталин	80,3	151
Никел	1455	305,6
Нитроген	-210	25,9
Нуқра	961,93	87,3
Об (ях)	0	332,4
Оксиген	-218,4	13,8
Оҳан	1535	270
Платина	1772	113
Пулод	1300-1400	205
Симоб	-38,9	11,7
Сурб	327,5	24,3
Спирти этил	-98,0	105
Тилло	1064,43	66,6
Титан	1725	315
Шиша	460 - 800	-
Чўян	1100-1200	96-138
Қалъагӣ	231,9	59

Қадвали 3.7

Температураи чўшиш ва гармии хоси бугшавӣ  
(дар фишори атмосферии нормалӣ)

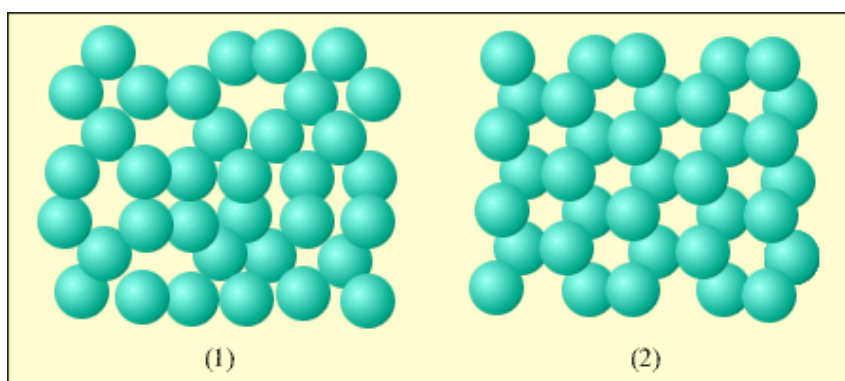
Модда	Температураи чўшиш, °С	гармии хоси бугшавӣ г, кҶ/кг
-------	------------------------	------------------------------

Алюминий	2300	9220
Асетон	56,5	521
Бензин	40 - 180	290
Бензол	80,1	394
Висмут	1560	855
Гелий	- 268,93	19,5
Глитсерин	290	825
Калий	760	2080
Литий	1317	20500
Магний	1103	5450
Мис	2360	5410
Натрий	883	4220
Нафталин	217,9	314
Никел	3000	7210
Нитроген	-195,80	199,3
Нукра	2160	2350
Об	100	2257
Оксиген	-182,962	213
Оҳан	3050	6300
Симоб	357	285
Сурб	1750	880
Скипидар	161	287
Спирти этил	78,3	906
Тилло	2800	1575
Фреон-12	-29,8	167
Қалъағй	2270	3020

Инчунин, аз натиҷаи таҷрибаҳо (ҷадвали 3.8) бармеояд, ки гармигунҷоиши хоси изобарии моддаҳо ҳангоми ғудохташавӣ кам тағйир меёбад. Ин натиҷа ғувоҳи он аст, ки тавсифоти ҳаракати молекулаҳо дар моеъҳо ва ҷисмҳои сахт наздиканд: молекулаҳои моеъ асосан дар наздикии мавҷеи мувозинатӣ мелапанд, ки дар ҷисмҳои сахт ҳам чунин аст.

Ҷадвали 3.8

Модда	Hg	Pb	Zn	Na	Cl <sub>2</sub>	HCl
Сахт, C <sub>p</sub> , Ҷ/кг·К	138	146	461	1328	1620	1405
Моеъ, C <sub>p</sub> , Ҷ/кг·К	138,5	155	542	1386	1800	1800



Мисоли тартиби наздики молекулаҳои моеъ ва тартиби дури молекулаҳои моддаи кристаллӣ: 1-об; 2- ях.

Дар моеъҳо мавқеи мувозинатӣ ҳамчун кристалҳо дар фазо бетағйир нест. Молекулаҳои моеъ аз молекулаҳои атрофшон энергияи иловагӣ гирифта ба мавқеи нави мувозинатӣ мегузаранду дар он ҷо як муддат мелаппанд. Бо афзудани температура зичии моеъҳо каму, моеъ ковок ва эҳтимоли чунин гузаришҳо зиёд мешавад. Ҳамин тавр, молекулаҳои моеъ ба адади дараҷаҳои озоди лаппиш ва пешравӣ соҳибанду молекулаҳои ҷисми сахт танҳо ба адади дараҷаи озоди лаппиш. Аз ин сабаб, гармиғунҷоиши моддаҳо дар ҳолати моеъ назар ба гармиғунҷоиши ҳолати сахтӣ каме зиёд аст. Часпакии зиёди моеъҳо нисбати газҳо бо бузургии зиёди ҳамтаъсири молекулаҳо маънидод мешавад. Азбаски молекулаҳои моеъ вақти зиёд дар наздикии ҳолати мувозинатӣ ҷойгиранд, қабати ҳаракатмандии моеъ қабатҳои ҳамсоҷро асосан аз ҳисоби қувваи ҷазбшавии молекулаҳо аз паси худ мекашанд. Бо баландшавии температура моеъ васеъ гардида, масофаи байни молекулаҳо меафзояд ва дар натиҷа қувваи ҷозибаи байни молекулаҳо сусту часпакӣ кам мешавад. Аз натиҷаҳои таҷрибаҳо бармеояд, ки бо баландшавии температура часпакии моеъ зуд (экспоненсиалӣ) кам мешаваду часпакии буғи он суст ( $\sim\sqrt{T}$ ) меафзояд ва дар температураи критикӣ фарқи байни моеъу буғ барҳам меҳурад ва часпакии онҳо баробар ҳисобидан равог.

Муодилаи Ван-дер-Ваалс сифатан баъзе хосиятҳои моеъҳоро як қадар дуруст тавсиф мекунад.

Дифузияи моеъҳо нисбат ба газҳо хеле суст мегузарад. Аммо дар баробари ин сохти моеъ аз сохти ҷисми сахт фарқи муҳим дорад. Дар ҷисми сахт зарраҳо (атом, ион) дар атрофи мавқеи мувозинатӣ лапида меистанд. Дар айни замон дар панҷараи идеалии кристалии ҷисми сахт ҳама

«чойҳои» имконпазир барои зарра банд мебошад. Структураи моеъ нисбат ба ҷисми сахт хеле «ковок» аст. Дар он чойҳои ҳолӣ- «масомаҳо» мавҷуданд, ки ба туфайли ин молекулаҳо чой иваз мекунад, чойи худро тарк карда, яке аз «ҳолиги»-ҳои ҳамсоҷро ишғол менамоянд.

Мувофиқи назарияе, ки онро Я. И. Френкел инкишоф додаст, ҳаракати ҳароратӣ дар моеъҳо характери зерин доранд: ҳар як молекула дар давоми ягон фосилаи вақт дар атрофи мавҷеи муайяни мувозинатӣ дар лапиш аст. Гоҳ-гоҳ молекула ба масофаи ба андозаи худ молекула баробар чой иваз карда, ҳолати мувозинатии худро тағйир медиҳад. Ҳамин тариқ, молекулаҳо дар дохили моеъ фақат оҳиста чой иваз мекунад, дар баробари ин якҷанд вақт дар назди чойҳои муқаррарӣ истода, мувофиқи ифодаи образноки Я. И. Френкел дар ҳолати «муқимӣ» мебошад.

Қобир бинни Ҳайён бори аввал моддаҳои моеъро ба гуруҳҳои вобаста ба нуктаи ҷӯшишашон тақсим кард. Ӯ поягузори химияи муосир эътироф шудааст.

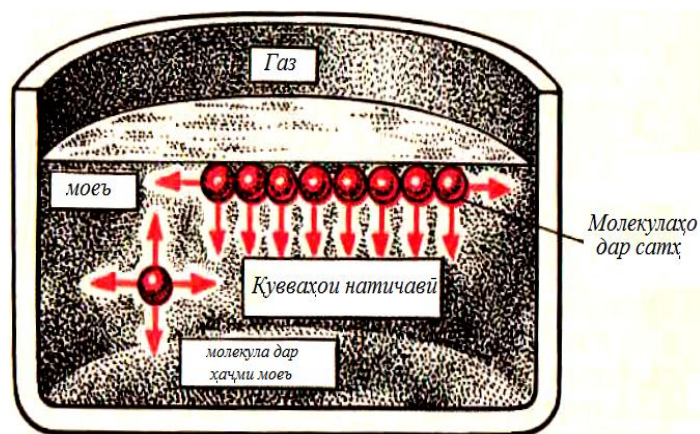
Дар моеъ қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳароратӣ барои бартараф кардани қувваҳои пайвастагии молекулаҳо кифоят намекунад (дар газҳо, баръакс). Ба туфайли ин, моеъ ҳаҷми муайян дорад. Аз моеъ фақат молекулаҳои баландсуръат канда шуда мебароянд, ки ин протсеси бухоршавии моеъро ба амал меорад.

### § 3.12 Кашиши сатҳӣ

Энергияи потенциалии молекула дар дохили моеъ нисбат ба энергияи потенциалии молекулаи берун аз моеъ кам аст. Қабати сатҳии моеъ нисбат ба тамоми ҳаҷми моеъ дар шароити дигар мебошад. Барои он ки молекула аз дохили моеъ ба берун барояд, бояд монеаи потенциалии муайяно бартараф созад, яъне қори муайяне иҷро кунад. Қимати миёнаи энергияи ҳаракати ҳароратии молекула барои иҷрои ин кор кифоя нест, дар натиҷа, моеъ ҳаҷми худро нигоҳ дошта метавонад.

Ба ҳар як молекулаи дохили моеъ аз ҳама тараф молекулаҳои дигар таъсир мекунад. Инчунин, ба ҳар як молекулаи аз сатҳи моеъ дар масофаи назар ба радиуси таъсироти молекулавӣ хурд чойгир, аз тарафи молекулаҳои дигар, қувваи ба дохили моеъ равон таъсир мерасонад. Ба тамоми қабати сатҳи моеъ қувваи ба таври нормалӣ ба дохили моеъ равон таъсир мекунад (расми 3.20). Бинобар он, сатҳи моеъ ба тамоми моеъ фишор медиҳад, ки он фишори молекулавӣ ном дорад.

Массаи моеъ, ки ба он қувваҳои беруна таъсир намекунад, бояд дар зери таъсири қувваҳои фишори молекулавӣ шакли куравиро гирад. Қатраҳои хурди моеъ, ки барои онҳо таъсири қувваҳои вазнинӣ нисбатан хурд аст, дар ҳақиқат, намуди кураҳо ишғол мекунад. Массаҳои калони моеъ кӯшиш мекунад, ки дар асоси қонуни Архимед қувваи вазниниро ба мувозинат оварда шакли кураҳо гиранд.



Расми 3.20

Аз ҳар гуна шаклҳои геометрӣ дар ҳаҷми муайян сфера сатҳи хурдтарин дорад. Бинобар он, аз ягон шакли ғайрисферавӣ ба шакли сферавӣ гузаштани массаи мазкури моєъ бо кам шудани сатҳи он робитаманд аст. Пас, таъсири қувваҳои фишори молекулавӣ, ки дар зери он моєъ шакли сфераро қабул мекунад, яъне сатҳи моєъ ба пардаи таранг кашидашуда монанд буда кӯшиш менамояд, ки ҳарчӣ кӯтоҳтар гардад. Ҳама ҳодисаҳое, ки онҳоро мавҷудияти фишори молекулавӣ ба вуҷуд меоварад, аз диди таъсири ин гуна пардаи таранг шарҳ дода шуданашон мумкин аст. Барои дар ҳолати мувозинатӣ нигоҳ доштани хатҳои тарангкашидашуда ба хатҳои ҳудудии сатҳи моєъ аз рӯи расанда қувваи  $F$ -гузоштан лозим аст, ки он қувваи кашиши сатҳӣ номида мешавад:  $F = \alpha l$ , ки ин ҷо  $l$ -дарозии ҳудуди парда,  $\alpha$ -коэффисиенти кашиши сатҳӣ.

Воҳиди  $\alpha$  дар СИ:  $1\text{Н/м}=1\text{Ҷ/м}^2$ . Коэффисиенти кашиши сатҳӣ ба табиати моєъ ва температура вобаста аст. Он бо афзудани температура кам мешавад.

Дар ҷадвали 3.10 бузургии коэффисиенти кашиши сатҳӣ барои баъзе моєъҳо дар температураи  $20^\circ\text{C}$  оварда шудааст.

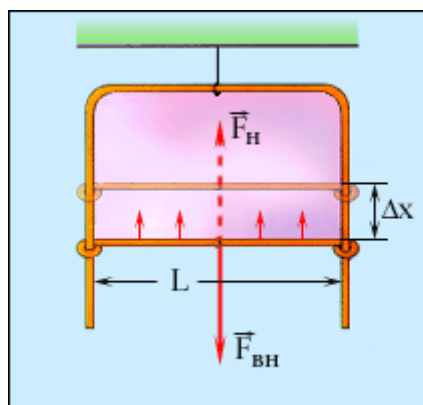
Ҷадвали 3.10

Модда	Коэффисиенти кашиши сатҳӣ, мН/м
Симоб	486,5
Об	72,86
Глитсерин	59,4
Нефт	26
Кислотаи сулфат 85%	57,4
Спирти этил	22,8
Кислотаи атсетат	27,8
Эфири этил	16,9
Маҳлули собун	40
Бензол	28,9
Асетон	23,3

Ифодаи кореро, ки барои ба ягон бузургии  $\Delta x$  зиёд кардани масоҳати сатҳи пардаи моєъ иҷро намудан лозим мешавад, муайян менамоем. Барои

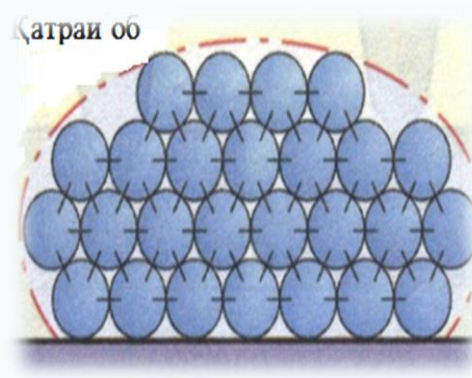
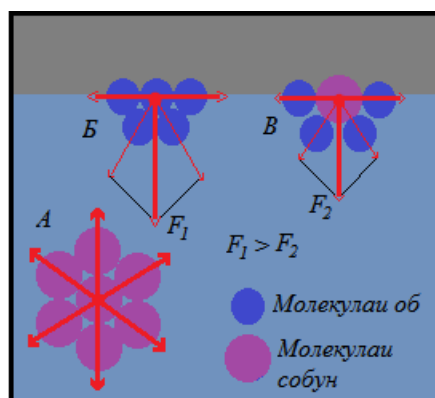


ин бо ёрии қувваи  $F$  ҳудуди пардаро (расми 3.21) ба ягон масофаи  $\Delta x$  худ ба худ паралел равои карда, мекӯчонем, он гоҳ кори иҷрошударо чун  $\Delta A = F \cdot \Delta x$  ё  $\Delta A = \alpha l \cdot \Delta x$  ҳисоб карда метавонем. Тарафи ҳаракатманди рамкаи симин бо таъсири қувваи беруна  $\vec{F}_G$  ва қувваи натиҷавии кашиши сатҳи  $\vec{F}_k$  дар мувозинат аст. Ҳосили зарби  $l \cdot \Delta x$  афзоиши масоҳати парда ( $\Delta S$ ) мебошад, бинобар ин корро чун  $\Delta A = \alpha \Delta S$  пешниҳод кардан раво аст. Дар натиҷа энергияи парда ба қадри ( $\Delta W$ ) меафзояд. Ҳамин аст, ки  $\Delta W = \alpha \Delta S$  ва  $\alpha = \frac{\Delta W}{\Delta S}$  мешавад. Коэффисиенти кашиши сатҳи  $\alpha$  ададан ба нисбати тағйироти энергияи пардаи сатҳ (энергияи озод) бар тағйироти масоҳати ин парда баробар аст.



Расми 3.21.

Кашии сатҳи ба ҳодисаҳои моеъии моддаҳо хос буда, масалан, ташкил ёфтани қатра, кафк ва ғайраҳо шарҳ медиҳад (расми 3.22).

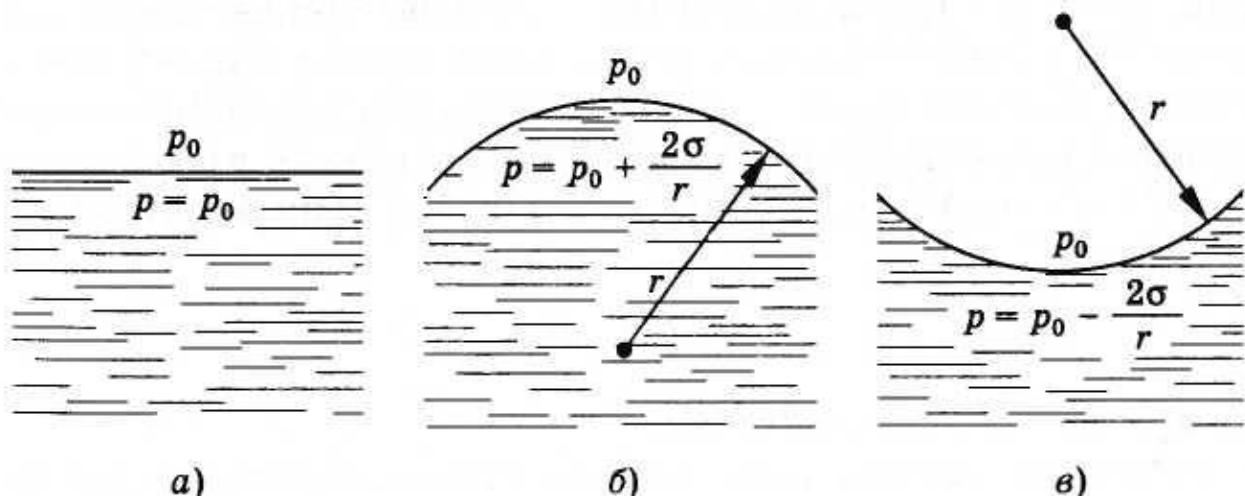


Расми 3.22

### § 3.13 Фишор дар зери сатҳи ҳамгаштаи моеъ

Чунин пардаеро ҳадафи назар мекунем, ки бо контури ҳамвор ихота шуда бошад (расми 3.23 а). Он гоҳ ин парда худ кӯшиш мекунад, ки шакли ҳамвориро гирад. Аз ин ҷо пардаи барҷаста кӯшиш мекунад, ки ҳамвор шавад ва ба қабатҳои поёнӣ фишор оварад. Ин фишори иловагӣ  $\Delta p$  ҳангоми барҷаста будани сатҳ мусбат (расми 3.23, б) ва ҳангоми фурӯҳаида бу-

дани он манфӣ мешавад (расми 3.23, в), яъне ҳаргуна пардаи сатҳии ҳам-гашта нисбат ба фишори пардаи сатҳии ҳамвор ба моеъ фишори иловагӣ меоварад. Бузургии фишори иловагӣ бо зиёдшавии коэффисиенти кашиши сатҳӣ  $\alpha$  ва қачии он меафзояд.

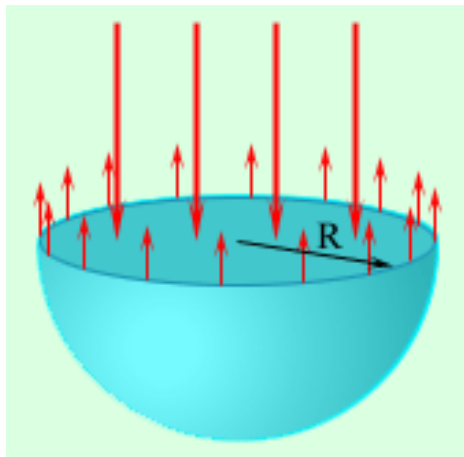


Расми 3.23

Барои сатҳи сферашакли моеъ фишори иловагиро ҳисоб мекунем. Барои ин қатраи сферашакли моеъро фаразан ба ду нимкура чудо менамоем (расми 3.24). Ин ду нимкураҳо ба туфайли кашиши сатҳӣ ба ҳамдигар бо қувваи зерин кашида мешаванд:

$$F = l \cdot \alpha = 2\pi R \cdot \alpha$$

Дар расми 3.24 буриши сферавии чакраи моеъ тасвир ёфтааст.



Расми 3.24

Ин қувва ҳарду нимкураҳоро ба якдигар бо сатҳи  $S = \pi R^2$  мефишуррад ва инчунин, фишори иловагиро шарҳ медиҳад:

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{2\pi R \cdot \alpha}{\pi R^2} = \frac{2\alpha}{R} \quad (3.54)$$

Қачии сатҳи ихтиёро бо қачии миёна номгирифта тавсиф додан қабул карда шудааст, ки он барои ҳар як нуқтаи сатҳ гуногун мебошад. Қачии миёна бо қачии бурришҳои нормалӣ муайян карда мешавад.

Буриши нормалии сатҳ дар ягон нуқтаи хати буриши ин сатҳ бо ҳамворӣ мебошад, ки дар он нуқта сатҳро перпендикулярӣ бурида мегузарад. Барои сфера ҳар гуна буриши нормалӣ давраи радиусаш  $R$  мебошад. Дар ҳолати умумӣ, ҳар гуна буришҳои нормалӣ, ки аз ягон нуқта гузаронида мешавад, қачиҳои гуногун доранд. Дар геометрия исбот карда шудааст, ки нисфи суммаи бузургии чаппаи радиусҳои қачӣ:

$$H = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.55)$$

барои ҳар гуна буришҳои нормалии бо ҳам перпендикуляр қимати якандоза доранд. Ин бузургӣ қачии миёнаи сатҳ дар нуқтаи муайян аст. Радиусҳои  $R_1$  ва  $R_2$  дар ифодаи (3.55) бузургҳои алгебравӣ мебошанд. Агар маркази қачии буриши нормалӣ дар зери сатҳи додашуда бошад, радиуси қачии ба он мувофиқ мусбат мешавад ва мавриди маркази қачӣ дар рӯи сатҳ будан, радиус манфӣ мешавад (расми 3.23). Аз ин рӯ, барои сатҳи ноҳамвор, қачии миёна ба сифр баробар шуданаш мумкин аст. Барои сфераҳо  $R_1=R_2=R$  ва аз рӯи ифодаи (3.55)  $H = \frac{1}{R}$  мешавад. Агар онро ба ифодаи (3.54) гузорем, он гоҳ

$$\Delta p = 2H\alpha \quad (3.56)$$

буданаш маълум мегардад.

Ба формулаи (3.56) ифодаи (3.55)-ро гузошта, таносуби зеринро ҳосил мекунем:

$$\Delta p = \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.57)$$

Ин ифодаро формулаи Лаплас меноманд. Фишори иловагии (3.57) тағйирёбии ҳолати сатҳи моеъро дар найчаҳои борик (капиларҳо) шарҳ медиҳад, аз ин ҷиҳат онро баъзан фишори капиларӣ низ меноманд.

Сатҳи цилиндриро муоина менамоем. Ба сифати буриши нормалӣ буриши сатҳи ҳамворро мегирем, ки он ба тири цилиндр перпендикуляр бошад. Буриши яқум хатти рост ( $R_1 = \infty$ ), дуомаш давра ( $R_2 = R$ ). Қачии сатҳи цилиндри мувофиқи формулаи (3.57) ба  $\frac{1}{2R}$  баробар, яъне нисбат ба сатҳи сфера ду маротиба хурдтар аст. Фишори иловагӣ дар зери сатҳи сфера ду баробар хурдтар мебошад. Фишори иловагӣ дар зери сатҳи цилиндри мувофиқи формулаи Лаплас чунин ҳисоб меёбад:

$$\Delta p = \frac{\alpha}{R} \quad (3.58)$$

Агар дар моеъ ҳубобчаи газ мавҷуд бошад, сатҳи ҳубобча ба хурдашавӣ кӯшиш карда, ба газ фишори иловагӣ меоварад. Бузургии ин фишори иловагӣ дар асоси формулаи (3.54) ба  $\frac{2\alpha}{R}$  баробар мешавад. Радиуси ҳубобчаро дар об муайян мекунем, ки фишори иловагии он ба  $10^5$  Па баробар бошад. Коэффисиенти қашиши сатҳии об дар температураи  $20^\circ\text{C}$  ба  $0,073$  Н/м баробар аст. Қимати  $R$  бошад:

$$R = \frac{2\alpha}{\Delta p} = \frac{2 \cdot 0,073}{10^5} \approx 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \quad \text{мешавад. Барои хубобчаи}$$

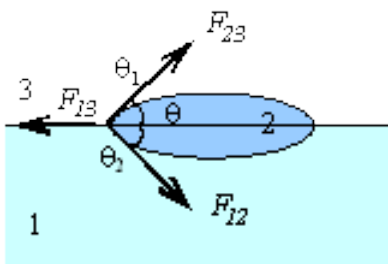
радиусаш 0,5 мм фишори иловагӣ аз 266 Па (2 мм. сут. симобӣ) зиёдтар аст.

Мавҷуд будани фишори иловагӣ дар зери сатҳи хамгашта, масалан, сабаби он мегардад, ки ҳаво дар дохили хубобчаи собунӣ нисбат ба ҳавои берунӣ дар зери фишори баландтар мешавад. Чи қадаре ки радиуси хубобча хурд бошад, фарқи фишори ҳаво дар дохил ва дар беруни хубобча ҳамон қадар зиёд аст.

### § 3.14 Шарти мувозинати байни ду муҳит. Кунчи канорӣ

Ҳодисаҳоеро, ки дар сарҳади ду моеъи омехтанашаванда ба амал меоянд, таносуби қувваҳои кашиши сатҳӣ муайян менамоянд. Маълум аст, ки моеъҳои гуногун ба ҳам ҳар ҳел таъсир мекунанд. Масалан, қатраи рағфани дар сатҳи об буда шакли линзаро мегирад, қатраи бензин бошад, дар сатҳи об паҳн шуда пардаи ниҳоят тунукро ҳосил менамояд.

Шароитҳои ба амалоии ин ҳолатҳоро муҳокима менамоем. Бигузор сарҳади се муҳит дода шуда бошад: моеъи 1 бо моеъи 2 ҳамсарҳад аст, моеъҳои 1 ва 2 бо муҳити 3, ки аз омехтаи ҳаво ва буғи моеъҳои 1 ва 2 иборат аст, ҳамсарҳаданд.



Расми 3.25

Ҳолатеро муоина менамоем, ки қатраи моеъи 2 бо таъсири қувваи вазнинӣ ба моеъи 1 ҷазб мешаваду шакли линзаро мегирад (расми 3.25). Сарҳади расиши ин се муҳит ба давра монанд аст. Ба ҳар як элементи  $\Delta l$  - и ин давра се қувва таъсир мекунанд:

$$F_{12} = \sigma_{12}\Delta l, \quad F_{13} = \sigma_{13}\Delta l, \quad F_{23} = \sigma_{23}\Delta l, \quad (3.59)$$

Ҳамаи ин қувваҳо аз рӯи расанда ба сатҳи расиши муҳитҳои ҳамсарҳад равонаанд,  $\sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23}$  – коэффисиентҳои кашиши сатҳӣ дар сарҳади расишҳои мувофиқ мебошанд. Азбаски муҳити газӣ ба кашиши сатҳии моеъҳои бо онҳо ҳамсарҳад кам таъсир мерасонанд, тақрибан чунин ҳисобидан мумкин аст:  $\sigma_{13} = \sigma_1$  ва  $\sigma_{23} = \sigma_2$ . Қатраи моеъи 2 ба шарте дар мувозинат буда метавонад, ки ҳамаи қувваҳои ба он таъсировар ҳамдигарро компенсатсия намоянд. Проексияи ҳамаи қувваҳои ба қатраи моеъи 2 таъсироварро ба самтҳои горизонталӣ ва вертикалӣ чунин пешниҳод карда метавонем:

$$\begin{aligned} F_{13} &= F_{12} \cos \theta_2 + F_{23} \cos \theta_1, \\ 0 &= F_{23} \sin \theta_1 - F_{12} \sin \theta_2. \end{aligned} \quad (3.60)$$

Ифодаи (3.59)-ро истифода бурда баробарии (3.60)-ро дар чунин намуд ифода намудан мумкин аст:

$$\begin{aligned} \sigma_{13} &= \sigma_{12} \cos \theta_2 + \sigma_{23} \cos \theta_1, \\ 0 &= \sigma_{23} \sin \theta_1 - \sigma_{12} \sin \theta_2. \end{aligned} \quad (3.61)$$

Ифодаҳои охириро ба квадрат бардошта чамъ менамоем :

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + 2\sigma_{12}\sigma_{23} \cos(\theta_1 + \theta_2). \quad (3.62)$$

Ишорати  $\theta = \theta_1 + \theta_2$ -ро истифода бурда, муодилаи (3.62)-ро дар намуди зерин менависем:

$$\sigma_{13}^2 = \sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + 2\sigma_{12}\sigma_{23} \cos \theta. \quad (3.63)$$

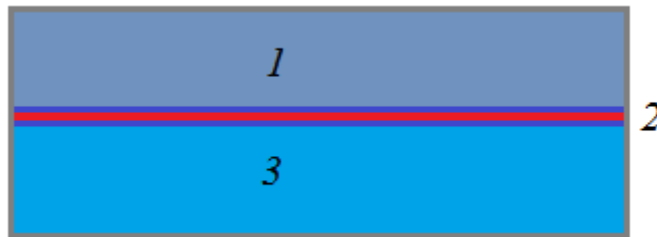
Баробарии ҳосилшуда нишон медиҳад, ки кунҷи  $\theta$  бо бузургии коэффисиентҳои кашиши сатҳӣ, яъне бо қувваҳои таъсири мутақобилаи молекулавии байни молекулаҳои ҳар як моеъ ва молекулаҳои муҳити бо он ҳамсарҳад, муайян мешавад.

Аз (3.63) бармеояд, ки дар ягон таносуби байни  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{12}$  ва  $\sigma_{23}$  ҳолате ба вучуд омаданад мумкин, ки  $\cos\theta$  баробари як, яъне  $\theta$  баробари сифр мешавад. Дар ин маврид ( $\theta = 0$ ) моеъи 2 дар сатҳи моеъи 1 дар намуди пардаи ниҳоят тунук паҳн мегардад, яъне моеъи 2 моеъи 1-ро пурра тар менамояд. Ҳамин тавр ҳангоми иҷрои шarti зерин пурра таршавӣ рӯй медиҳад:

$$F_{13} \geq F_{12} + F_{23}. \quad (3.64)$$

Дар ин маврид (расми 3.26) нобаробарии дигари зерин иҷро мешавад:

$$F_{13} < F_{12} + F_{23}. \quad (3.65)$$



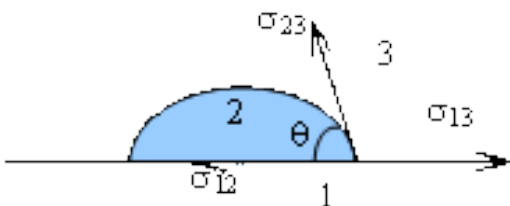
Расми 3.26

Қатраи моеъи 2 дар сатҳи моеъи 1 то он даме кашида мешавад, ки шarti зерин иҷро нашавад:

$$F_{13} = F_{12} + F_{23}. \quad (3.66)$$

Ин шарт мавқеи моеъи 2-ро дар сатҳи моеъи 1 дар намуди линзаи дугарафа барҷаста, ки дар расми 3.25 тасвир ёфтааст, нишон медиҳад.

Шартҳои таршавӣ ва тарнашавиро дар сарҳади моеъ ва ҷисми сахт муҳокима менамоем. Қайд намудан лозим аст, ки на танҳо моеъҳо кашиши сатҳӣ доранд, балки ҷисмҳои сахт низ дорои кашиши сатҳианд. Дар ҷисмҳои сахт мавҷудияти сохтори кристалии қатъиян даврӣ гувоҳи мавҷудияти қувваи ҷозибавӣ байни молекулаҳо мебошад. Мавҷудияти ин қувваҳо кашиши сатҳиро дар ҷисмҳои сахт ба вучуд меоранд.



Расми 3.27

Бигузур қатраи моеъи 2 дар сатҳи ҷисми сахти 1 ҷойгир бошад (расми 3.27).

Дар расм қувваҳои кашиши сатҳии дар сарҳади моеъ-ҷисми сахт ( $\sigma_{12}$ ), моеъ-газ

( $\sigma_{23}$ ) ва ҷисми сахт-газ ( $\sigma_{13}$ ) таъсиронар нишон дода шудаанд. Маълум аст, ки шакли қатра дар сатҳи ҷисми сахт ба бузургии ин қувваҳо вобаста аст.

Ду маврид муҳокима менамоем. Агар:

$$\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23} \quad (3.67)$$

бошад, моеъи 2 дар сатҳи ҷисми сахти 1 то ба вучудоии пардаи тунук, ҳатто то ба вучудоии қабати мономолекулавӣ, паҳн мешавад. Ҳангоми иҷрошавии ин шарт моеъ сатҳи ҷисми сахтро пурра тар менамояд. Кунҷи  $\theta$  баробари сифр мешавад. Агар дар ягон таносуби байни  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{12}$  ва  $\sigma_{23}$  ба бузургии  $\cos \theta$  баробарии зерин ҷой дошта бошад ҳолати пурра тарнашавӣ ба амал меояд:

$$\sigma_{13} = \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta. \quad (3.69)$$

Моеъи 2 дар сатҳи ҷисми сахт то он вақте ки шарти (3.69) иҷро нашавад, паҳн мегардад.

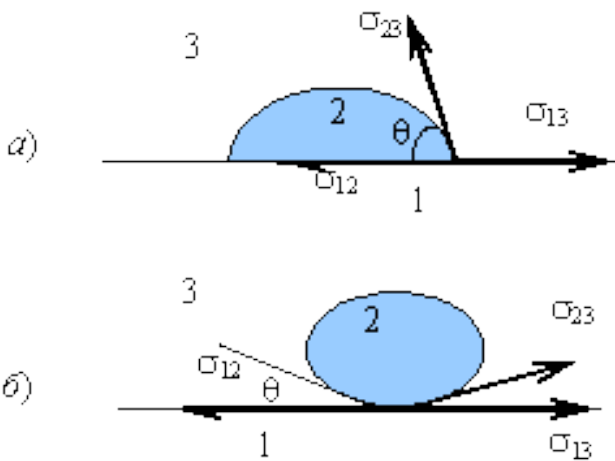


Рис. 3.28

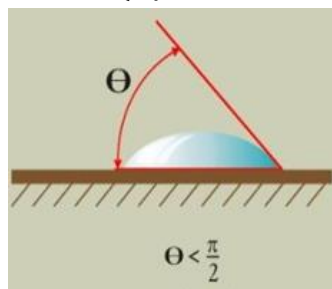
Дар ин маврид кунҷи  $\theta$  тез мебошад (расми 3.28, а). Баъзе моеъҳо дар сатҳи ҷисми сахт қатраеро ҳосил менамоянд, ки шакли мувозинатиаш мутобиқи нобаробарии зерин муайян мешавад:

$$\sigma_{13} < \sigma_{12} - \sigma_{23} \cos \theta. \quad (3.70)$$

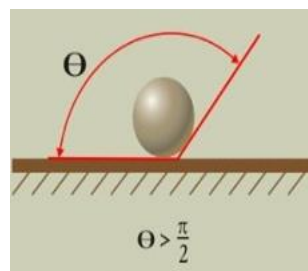
Дар ин маврид кунҷи  $\theta$  кунҷи кунд мебошад (расми 3.28, б). Қувваҳои  $\sigma_{12}$  ва  $\sigma_{23} \cos \theta$  кӯшиш менамоянд, ки қатра шакли сферавиро гирад, аммо ба ин қувваи вазнинӣ монеъ мешавад. Дар ин маврид

қисман тарнашавӣ ҷой дорад.

Аслан дар шароити воқеӣ ҳангоми ҳамтаъсироти моеъ бо ҷисми сахт ду ҳолат амалӣ шуданаш мумкин аст: ё қисман таршавӣ ( $0 < \theta < \pi/2$ ), ё қисман тарнашавӣ ( $\pi/2 < \theta < \pi$ ).



Таршавӣ



Тарнашавӣ

Ҳодисае, ки дар натиҷаи таъсири мутақобилаи молекулаҳои моеъ бо молекулаҳои ҷисми сахт ба вучуд меояд ва ба қачшавии сатҳи моеъ дар сатҳи ҷисми сахт меорад, таршавӣ меноманд. Таршавӣ бо кунҷи байни моеъи таркунанда ва расанда ба сатҳи моеъ тавсиф меёбад, ки онро кунҷи канорӣ ё кунҷи таршавӣ меноманд. Агар моеъ дар сатҳи ҷисми сахт паҳн гардад, моеъ сатҳро тар мекунад ва кунҷи канорӣ тез мешавад ва агар паҳн нашавад, тар намекунад ва кунҷи канорӣ кунд аст. Ҳангоми пурра таршавӣ кунҷи канорӣ 0 ва дар мавриди пурра тарнашавӣ  $180^\circ$  аст.

Барои моеъи комилан тарнакунанда  $\theta = \pi$  мешавад. Дар расми 3.28 б намуди қатраи моеъи тарнакунанда тасвир ёфтааст. Дар мавриди дуюм, агар, ки қувваҳои таъсири мутақобилаи моеъ назар ба моеъу ҷисми сахт кам аст, моеъ ҷисми сахтро тар мекунад. Дар вақти тар кардан дар ҳамон қабати моеъ, ки ба ҷисми сахт наздик аст, қувваи натиҷавӣ ба тарафи ҷисми сахт раван аст. Дар ин вақт  $\theta$  кунҷи тез мешавад, яъне:  $\theta < \frac{\pi}{2}$ .

Ҳамон моеъ баъзе ҷисмҳои сахтро тар мекунаду дигарашро не. Масалан, об дар амал сатҳи тозаи шишаро комилан тар мекунад. Симоб шишаро тар намекунад, вале сатҳи тозаи оҳанро тар мекунад ва ғайра.

### § 3.15 Ҳодисаи капиларӣ

Сатҳи моеъи таркунанда дар найчаи силиндрии борик шакли фуруҳамидаро (расми 3.29 а) ва моеъи тарнакунанда шакли барҷастаро (расми 3.29 б) мегирад. Ин гуна сатҳҳои хамидаи моеъ менискҳо номида мешаванд.

Найчаи борикро гирифта ба зарфи васеи моеъдор меғўтонем. Бигуздор моеъ найчаро тар кунад. Дар ин маврид мениск дар найча фуруҳамида аст (расми 3.29 а) ва дар ҳоли шакли доиравӣ доштани найча тақрибан қисми сфераро ташкил мекунад.

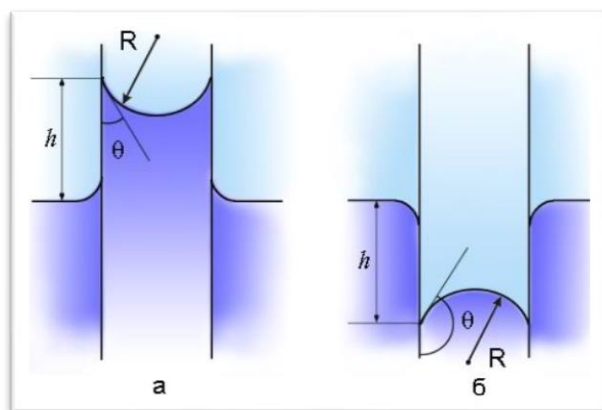
Дар зери сатҳи фуруҳамидаи моеъ фишори иловагии манфии  $p = \frac{2\alpha}{R}$  ба вучуд меояд.

Азбаски зери сатҳи ҳамвори моеъ дар зарфи васеъ фишори иловагӣ нест, моеъ ба воситаи найча ба чунин баландии  $h$  бардошта мешавад, ки дар он фишори иловагиро ба мувозинат меорад. Фишоре, ки сутунчаи моеи баландиаш  $h$ -ро ба вучуд меорад, ба  $\rho gh$  баробар аст (инро фишори гидростатикӣ меноманд), ки ин ҷо  $\rho$ -зичии моеъ  $g$ -шиқоби афтиши озод мебошад. Шарти мувозинатӣ чунин намуд мегирад:

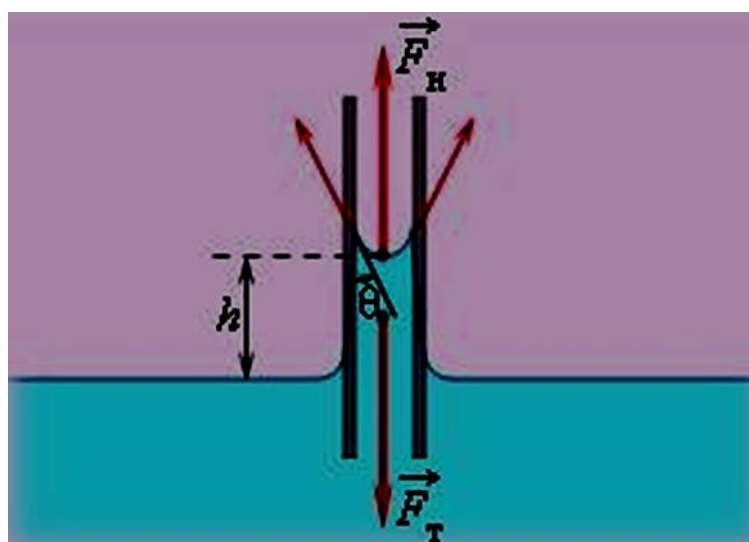
$$p = \frac{2\alpha}{R} = \rho gh. \quad (3.73)$$

Ин ҷо  $R$ -радиуси сатҳи моеъ,  $\alpha$ -коэффисиенти кашиши сатҳии моеъ мебошанд.





Расми 3.29



Расми 3.30. Болобароии моеъи таркунанда дар капилар

Радиуси найчаро бо  $r$  ва кунчи канориро бо  $\theta$  ишорат карда, аз расми 3.30 таносуби зеринро ҳосил менамоем:

$$R = \frac{r}{\cos\theta} \quad (3.74)$$

Ифодаи (3.74) -ро ба (3.75) гузорем, таносуб намуди зеринро мегирад:

$$\rho g h = \frac{2\alpha \cdot \cos\theta}{r}.$$

Аз ин ҷо:

$$h = \frac{2\alpha \cdot \cos\theta}{r\rho g} \quad (3.75)$$

мешавад.

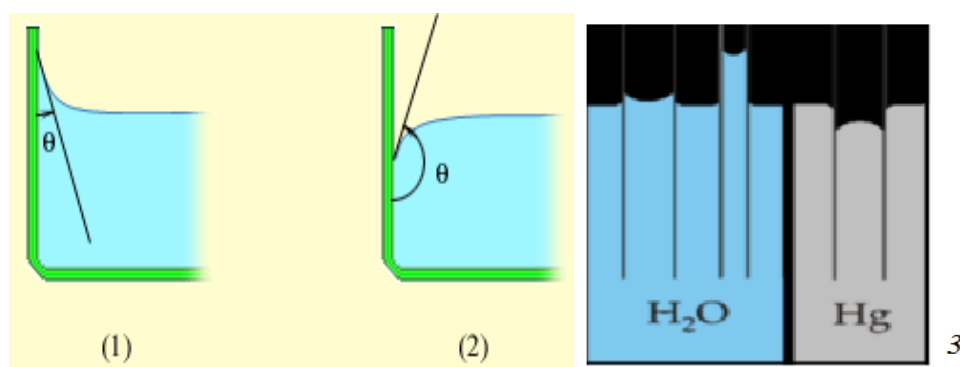
Муодилаи (3.75)- ро формулаи Жюрен меноманд. Аз ин формула бармеояд, ки радиуси найча  $r$  чӣ қадар хурд бошад, моеъ ҳамон қадар баландтар ( $h$ ) бардошта мешавад. Бинобар он, болобароии моеъҳои таркунанда, хусусан, дар найчаҳои хеле борик аёнтар аст. Ин гуна найчаҳоро найчаҳои капиллярӣ меноманд, ки аз калимаи латинии **capillus** гирифта



шуда, маънояш мӯй мебошад. Капилар — «найчаи борик, чун муй». Худи ҳодисаи тағйирёбии баландии сатҳи моеъ дар найчаҳои борик ҳодисаҳои капиларӣ номида мешавад.

Агар моеъ дар зарф бошад, дар ҷойҳои расиш бо девори зарф, сатҳи моеъ қач мешавад, яъне мениск ҳосил мегардад. Вобаста ба он ки моеъ сатҳи девори зарфро тар мекунад ё не, менискҳои барҷаста ё фуруҳамида ба вучуд меоянд.

Агар моеъ материали капиларро тар накунад, он гоҳ мениски моеъ дар капилар барҷаста буда, фишори иловагии мениск мусбат аст ва сатҳи моеъ дар капилар нисбат ба қисми васеи зарф поёнтар ҷойгир мешавад (расми 3.31).



Расми 3.31 Кунҷҳои канории моеъҳои таркунанда (1) ва тарнакунанда (2), об ва симоб дар капилари шишагин (3)

Бузургии поёнфароӣ ( $h$ ) сатҳи моеи тарнакунанда бо формулаи (3.75) муайян карда мешавад. Аз формулаи (3.75) коэффисиенти кашиши сатҳро муайян кардан мумкин аст. Барои ин чунин материалро интихоб кардан лозим аст, ки пурра таркунӣ (ё ки пурра тарнакунӣ) ҷой дошта бошад.

Ҳодисаи капиларнокӣ дар табиат ва ҳаёти амалӣ нақши муҳим мебозад. Об ба Замин, ба ҳар гуна маводҳои ковок дар натиҷаи ҳодисаи капиларӣ дохил мешавад. Хиштҳои оддӣ ба ҷисмҳои ковок (масомадор) мансубанд. Бинобар ин, қисми поёнии иморатҳои хиштин бояд аз намӣ изолятсия карда шуда бошанд.

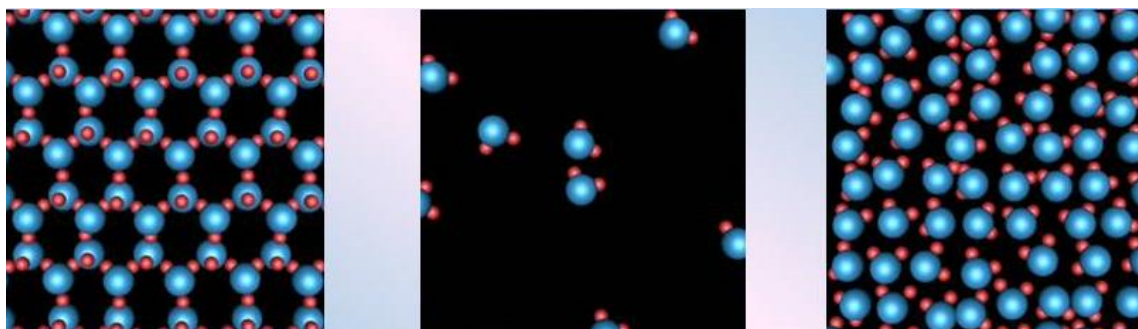
Ба таркунандагӣ ва тарнакунандагии моеъҳо дар техника усули васеъ паҳншуда-флотатсионии ҷудо кардани маъданҳо аз канданиҳои ҳолӣ асос ёфтааст.

### §3.16 Ҳосиятҳои физикавии об

Об дар табиат васеъ паҳн шудааст ва дар ҳаёти инсон аҳамияти бениҳоят калон дорад, хосиятҳои физикавии онро алоҳида муҳокима менамоем.

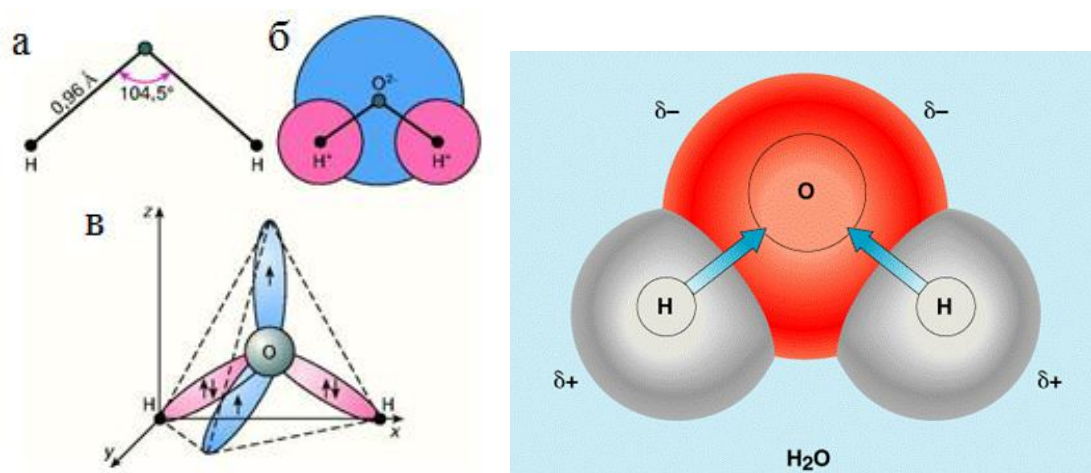
Структураи асосии молекулаи об тетраэдр буда, бо якдигар бо робитаҳои гидрогенӣ пайваست мебошанд. Дар мавриди ях ин структура хеле аён зоҳир мегардад (расми 3.32). Аз рӯи модели назариявӣ (Н.Беррум) ду заряди манфӣ ва ду заряди мусбати молекулаи об дар қуллаи тетраэдри дуруст

ҷойгир шудаанд, ки аз марказ дар масофаи 0,099 нм дур мебошанд. Масофаи байни ядрои атоми оксиген то протони гидроген аз 0,091 то 0,103 нм, радиуси молекулаи об 0,138 нм (расми 3.33).



Расми 3.32. Ях, буғи об ва об. Молекулаи об тақрибан  $5 \cdot 10^7$  маротиба калон тасвир шудааст.

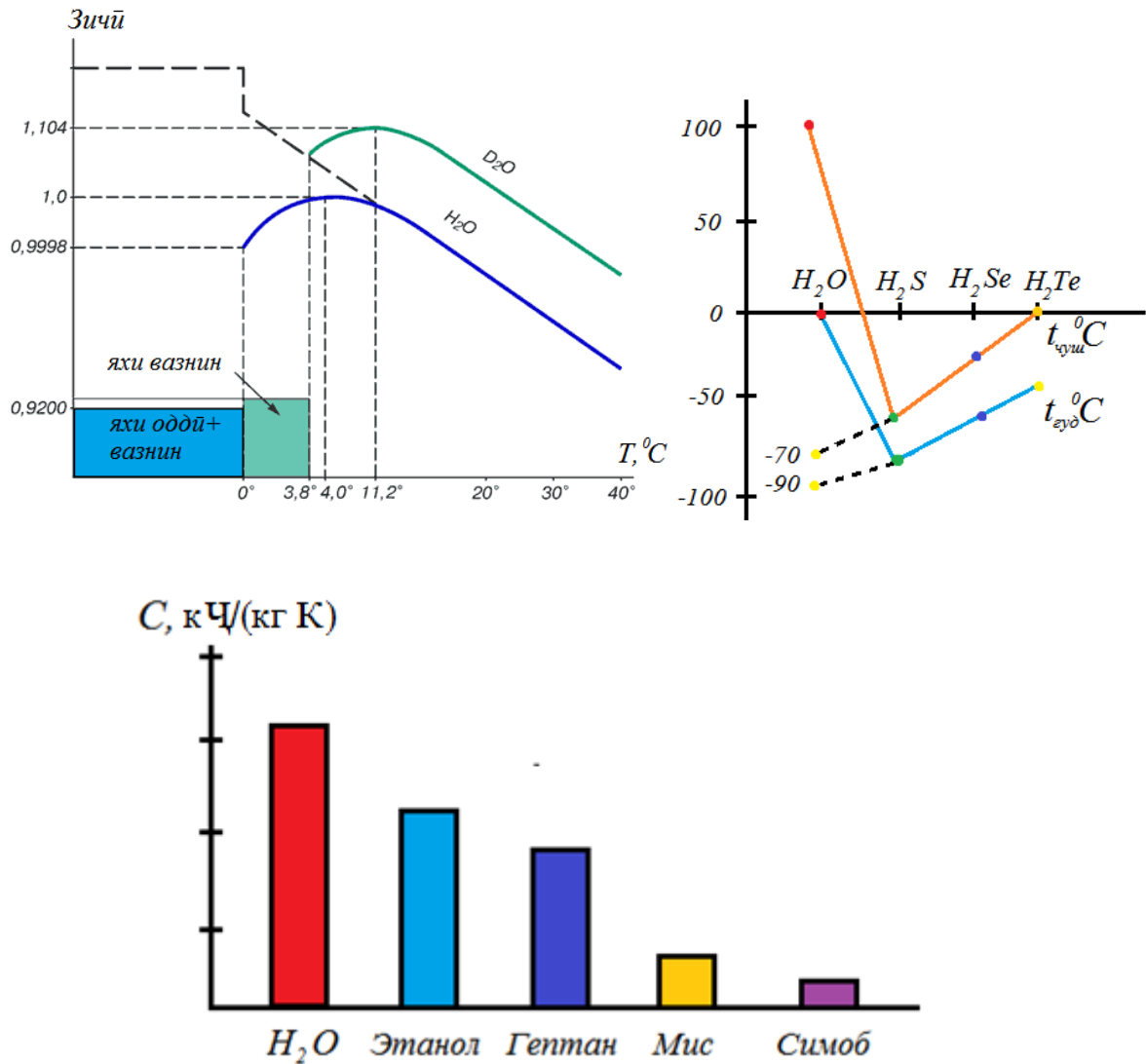
Дар расми 3.33 схемаи геометрӣ (а), шакли (модел) *хамвор* (б) ва сохтори электрони фазои (в) мономери об тасвир шудааст. Аз чор ду электрони савияи берунии атоми оксиген дар барпокунии робитаи ковалентӣ бо атомҳои гидроген иштирок мекунанд, дутои дигараш орбита (мадор)-ҳои зиёд кашидашудаи электрониро ҳосил менамоянд, ки ҳамвории он ба ҳамвории Н-О-Н перпендикуляр аст.



Расми 3.33.

Якчанд модели сохтори об дар ҳолати моеъ ҳам ҳаст, ки муҳаққикон асосан модели дуструктурагиро бештар истифода мебаранд (О.Я. Самойлов, Ч. Браун, Р. Фаулер, А.Г. Крестов).

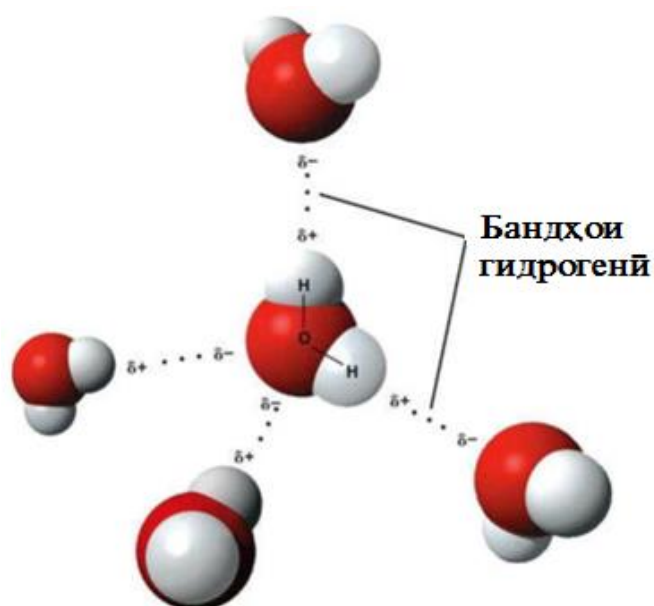
Таъсири робитаи гидрогенӣ боиси хусусиятҳои махсуси об: гармиғунҷоиши зиёд, температураи баланди буғшавию ҷӯшиш нисбат ба дигар моддаҳое мебошад, ки формулаи структуравии  $H_2R$  доранд (расми 3.34).



Расми 3.34

Таъмини инсоният бо оби тоза яке аз масъалаҳои ҳалталаби ҷаҳони имрӯза маҳсуб меёбад. Дар оғози ҳазорсолаи сеюм инсоният дар баробари пешрафтҳои беназири илмиву техникӣ бо норасоии оби тоза рӯ ба рӯ гашт. Об байни тамоми неъматҳои табиат мавқеи асосӣ дорад. Маълум аст, ки захираҳои оби тоза хеле маҳдуданд. Дар баробари ин об на танҳо асоси мавҷудияти ҳаёт дар сайёра мебошад, балки ҷузъи муҳимтарини фаъолияти истеҳсолии инсониятро ташкил медиҳад.

Экспедитсияи олимони олмонӣ дар уқёнуси Атлантика дар чуқурии зиёд манбаи оби температурааш ниҳоят баландро кашф намуданд. Моеъ дар он дар ҳолати фавкулкритикӣ ҷой дорад.



Дар ҷадвали 3.11 баъзе хосиятҳои физикавии об дар фишори нормалӣ (0,1 МПа) гирд оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.11

Хосиятҳои физикавии об

Температура:	
яшавӣ, гудозиш	273 К
ҷӯшиш	373 К
Зичӣ дар температураҳои:	
273 К	999,84 кг/м <sup>3</sup>
276,98 К	999,97 кг/м <sup>3</sup>
293 К	998,20 кг/м <sup>3</sup>
373 К	958,35 кг/м <sup>3</sup>
Гармии ниҳонӣ:	
обшавии ях	330 кҶ/кг
бухоршавӣ дар температураи 275 К	2,25 МҶ/кг
Коэффисиенти гармигузаронӣ дар T=288 К	4,18 Вт/(м К)
Гармиғунҷоиши хос:	
ях	2,035 кҶ/(кг К)
об дар T=293 К	4,178 кҶ/(кг К)
Коэффисиенти часпакӣ дар температураҳои:	
273 К	0,001793 Па с
298 К	0,000985 Па с
Электрнокилияти хос дар T=293 К	4,2 · 10 <sup>-6</sup> см/м
Нуфузпазирии нисбии электрӣ дар T=293 К	81
Коэффисиенти кашиши сатҳӣ дар T=293 К	73 · 10 <sup>-3</sup> Н/м
Доимиҳои критикӣ:	
температура	647,2 К
фишор	22,12 МПа
зичӣ	324 кг/м <sup>3</sup>

### § 3.17 МАҲЛУЛҲО

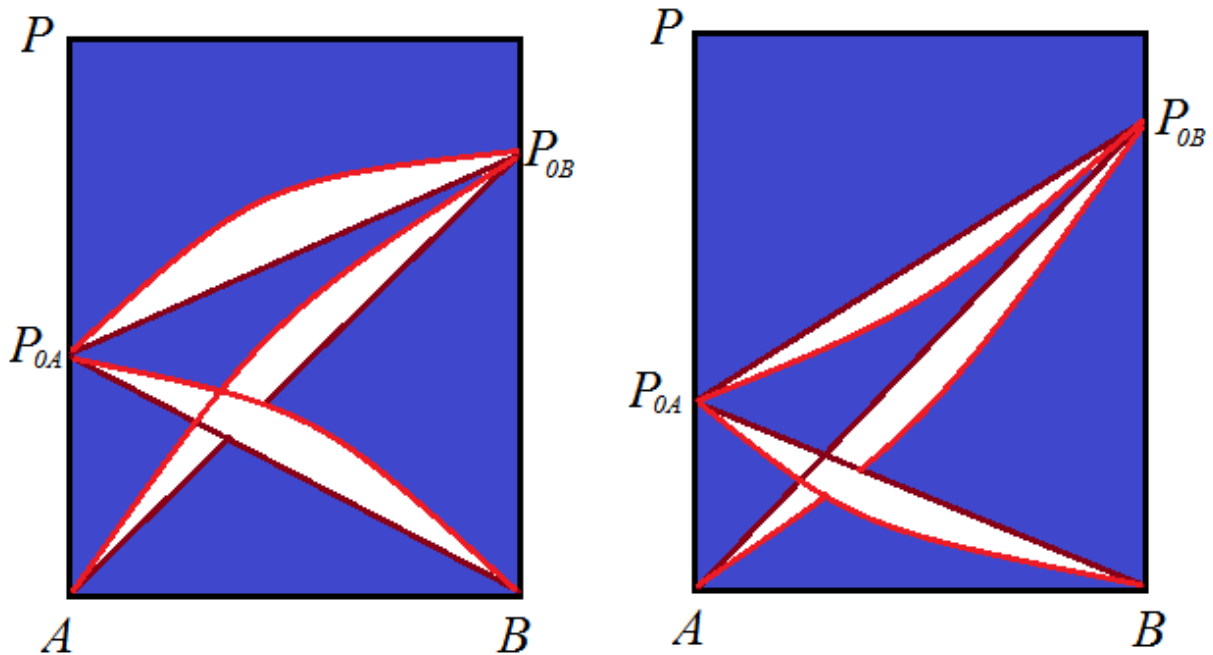
Тартиби гомогени (якчинса)-и сахт ё моеъро, ки аз ду ё якчанд модда (компонента)-и микроскопии якчинсаи системаи аз ҷиҳати термодинамикӣ мувозиро ҳосил мекунад, маҳлул меноманд. Компонентаҳои маҳлулҳо дар ҳолати молекулавӣ дисперсӣ буда, аз атому молекула, ион ё гуруҳҳои ионҳо иборатанд ва ин зарраҳо дар маҳлул мунтазам тақсим шудаанд. Аз диди термодинамикӣ, маҳлулҳо системаи якчинсаву якфазагии таркибашон тағйирёбандаанд, яъне дар шароити муайяни беруни микдори нисбии компонентҳои онҳо дар як ҳудуди муайян бефосила тағйир ёфта метавонад. Маҳлулҳо газшакл, моеъ ва сахт мешаванд. Ҳаво, газҳои сӯзандаи табиӣ ва ғайра мисоли маҳлулҳои газшакланд; мисоли моеъҳои сахт хӯлаҳои гуногун мебошанд. Маҳлулҳои моеъ (оби кӯл, дарё ва баҳрҳо, нефт ва ғайра) аҳамияти қиёсан калон доранд. Маҳлулҳо омехтаҳои якчинсаи молекулавӣ буда, таркиби химиявиашон дар тамоми ҳаҷм якхела аст. Қисмҳои таркибии маҳлулро компонентаҳо мегӯянд, яъне маҳлул аз моддаҳои ҳалкунанда ва ҳалшаванда иборат аст. Ҳалкунанда моддаест, ки хусусияти ҳал кардани якчанд моддаҳоро дорад. Агар маҳлул аз моеъ ва газ ё аз моеъ ва моддаи сахт ҳосил шуда бошад, он гоҳ моеъ ҳалкунанда ба шумор меравад ва агар он аз моддаҳои моеъ ҳосил шуда бошад, моеи нисбатан зиёдро ҳалкунанда меҳисобанд. Хислати хоси компонент аз он иборат аст, ки микдори ҳар кадоми он дар маҳлул ба микдори дигараш вобаста нест. Аз ҳамин сабаб таркиби маҳлул бар хилофи пайвастагиҳои химиявӣ тағйирёбанда аст. Ин хосият маҳлулҳоро ба омехтаҳо монанд мекунад, вале якчинсагӣ ва баъзе хусусиятҳои физикавӣю химиявиашон онҳоро ба пайвастагиҳои химиявӣ монанд мегардонад. Масалан, мавҷуд будани кристалогидратҳо далили он аст, ки ҳангоми ҳалшавӣ молекулаи ҳалкунанда пайвастагии химиявӣ ҳосил менамоянд. Ҳамин тариқ, дар маҳлул хосияти пайвастагии химиявӣ ва омехта мушоҳида карда мешавад. Азбаски об ҳалкунандаи универсалӣ буда, ба аппарат ва моддаи ҳалшаванда таъсири бад надорад ва моддаи насӯзандаю беаҳр аст, он бештар мавриди истифода қарор меёбад. Дар ин мавридҳо об ҳалкунанда мебошад. Мо ҳам бо маҳлулҳои обӣ сару кор дорем. Дар об моддаҳои сахт, моеъ ва газ ҳал мешаванд: баъзе моддаҳо бисёртар, дигарашон камтар. Масалан, қанд, селитраи аммоний, спирт, аммиак, ишқорҳо хуб ҳалшаванда буда, карбонати калсий, бензол ҳалшавандаи бад мебошанд (нихоят кам ҳал мешаванд). Моддаҳои аз ҷиҳати сохту хосияташон ба ҳам монанд (масалан, обу спирт, бензину равған ва ғ.) дар муҳити якдигар бештар ҳал мешаванд. Дар ҷойгиршавии молекулаҳои маҳлулҳо тартиби наздик ҷорист, инчунин, дар онҳо флукуатсияи зичӣ ва концентратсия ба мушоҳида мерасад. Молекулаҳои маҳлулҳои обӣ байни ҳамдигар асосан ба воситаи банди гидрогенӣ пайваست мешаванд. Таъсири мутақобилии химиявӣ зарраҳои маҳлул боиси комплексҳосилшавӣ, таъсири мутақобилии онҳо ва молекулаҳои ҳалкунанда, боиси гидрататсия (аз юн. *hydro*-об, пайвастшавии об ба моддаҳои гуногун) ва солвататсия (аз лот. *solvent* - ҳал кардан ҳамтаъсироти байни молекулаҳои моддаҳои ҳалкунандаю ҳалшаванда) мегарданд. Хосияти химиявӣ маҳлул асосан аз рӯи

тавсифи ҳамтаъсироти зарраҳо муайян карда мешавад. Концентрацияи моддаи ҳалшуда ва фишори буғи сери моддаи ҳалкунанда дар рӯи маҳлул, ки параметрҳои муҳими маҳлулҳо мебошанд, бо қонуни зерини Раул ифода меёбанд:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n + N},$$

ин ҷо  $P_0$ -фишори буғи сери ҳалкунандаи ҳолис;  $P$ -фишори буғи сери болои маҳлул;  $n$  ва  $N$ -мувофиқан адади молҳои моддаи ҳалшуда ва ҳалкунандаанд.

Маҳлулҳое, ки ба қонуни Раул итоат мекунанд, маҳлулҳои идеалӣ ва маҳлулҳои боқимонда реалӣ ном доранд. Агар фишори парсиалии буғи компонентаи маҳлул аз қимати дар асоси қонуни Раул дарёфта зиёд бошад, ин **тахриф** мусбӣ ва агар кам бошад, манфӣ номида мешавад. Дар ҳолати яқум дар диаграммаи мувозинати фазагии «фишори буғ- таркиби маҳлул» максимум ва дар ҳолати дуҷум минимум ба мушоҳида мерасад. Дар нуқтаи максимум таркиби омехтаи моеъ ва таркиби буғи бо он дар мувозинат буда якгун аст (расми 3.35). Ин гуна маҳлулҳоро омехтаҳои азеотропӣ меноманд.



Расми 3. 35. Вобастагии фишори буғи сер аз ҳиссаи моли компоненти В (хв)

Якчанд намуди маҳлулҳоро фарқ менамоянд. Чунончи, мувофиқи концентрацияи моддаи ҳалшуда-концентрониди ва сероб, аз рӯи тавсифи ҳалкунанда- обӣ ва ғайриобӣ (спиртӣ, амиакӣ ва ғ.), мувофиқи концентрацияи ионҳои гидроген кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ.

Маҳлулҳои намакҳо, кислотаҳо ва ишқорҳо электролитанд. Омӯхтаҳои маҳлулҳо аҳамияти амалӣ доранд. Дар Тоҷикистон ҳолати зарраҳо дар маҳлулҳои моеъ ва комплексҳосилшавиро дар кафедраҳои факултетҳои фи-

зика ва химияи ДМТ ва маҳлулҳои сахтро дар лабораторияи металлургияи металҳои холис ва ҳулаҳои претсизиони Институти химияи АИ ҚТ ба номи Никитин ҳаматарафа бо методҳои физикавии гуногун тадқиқ мекунад.

Барои ифода намудани таркиби маҳлул (миқдори моддаи ҳалшаванда ва ҳалкунанда) аз мафҳуми «концентратсияи маҳлул» истифода мебаранд. Бузургииеро, ки миқдори нисбии қисми таркибии ягон моддаро дар таркиби омехта, маҳлул ё ҳула ифода мекунад, концентратсия (аз лот. Con – бо, якҷоя ва centum- марказ) меноманд.

Концентратсия миқдори ё ҳаҷми мешавад. Ҳангоми доими будани миқдори маҳлул концентратсияро бо фоизи вазнӣ (адади ҳиссаи вазнии ҳалшаванда дар 100 ҳиссаи вазнии маҳлул) ва фоизи моли (адади моли ҳалшаванда дар 100 мол) ифода мекунад. Агар миқдори ҳалкунанда доими бошад, он гоҳ концентратсия бо молярноки (адади моли ҳалшаванда дар 1 кг ҳалкунанда) муайян мешавад. Дар мавриди доими будани ҳаҷми маҳлул концентратсия бо молярноки ё нормалноки (адади моли моддаи ҳалшаванда дар 1 л маҳлул) ва титр (миқдори грами модда дар 1 см<sup>3</sup> маҳлул) ифода карда мешавад.

Ҳалшавандагии моеъҳо дар об ба фишор ва температура чандон вобаста нест. Агар ҳалшавандагии моеъ дар об маҳдуд бошад, моеи дуқабата ба вуҷуд меояд, ки он одатан аз ду маҳлул: маҳлули моеъ дар об ва маҳлули об дар моеъ иборат аст. Масалан, дар температураи 20 °С дар омехтаи бензолу об маҳлули дуқабата ба вуҷуд меояд: қабати якум маҳлули бензол дар об ва қабати дуюм маҳлули об дар бензол. Дар қабати якум 0,175% бензол ва дар қабати дуюм 99,95% бензол мавҷуд аст. Бояд қайд кард, ки баъзан таркиби як қатор маҳлулҳои дуқабата вобаста ба температура тағйир меёбад.

Протсеси дар об ҳал шудани газҳо ва моеъҳо аз дифузияи ҳамдигарии молекулаҳои ҳалкунанда ва ҳалшаванда иборат аст. Бештари газҳо ва моеъҳо бо молекулаҳои об пайвастагиҳои химиявӣ ҳосил мекунад, ки ин боиси гарм шудани маҳлул мегардад. Ҳалшавандагии газҳо умуман ба температура ва фишор вобаста аст. Бо афзудани температура ҳалшавандагии газ кам мешавад, зеро вобаста ба гарми энергияи кинетикии молекулаҳо меафзояд ва аз моеъ хориҷ шудани он мушоҳида карда мешавад.

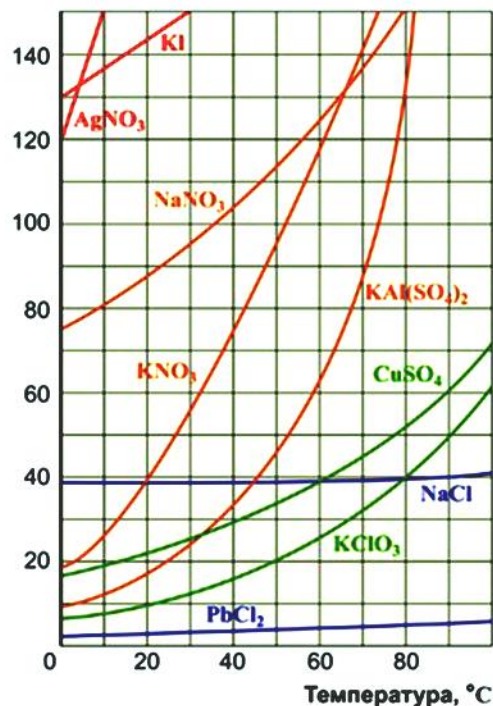
Ҳангоми ҳал кардани моддаҳои сахт дар моеъ, молекулаҳои моддаи моеъ, дар натиҷаи таъсири солватсионӣ молекулаҳои моддаи ҳалшавандаро аз панҷараи кристалӣ «канда» мегиранд. Ин ҳодиса, дар навбати худ, боиси вайрон шудани панҷараи кристалӣ мегардад. Барои вайрон кардани панҷараи кристалӣ, албатта, энергия сарф мешавад. Дар маҳлули ҳосилшуда молекула аз ҷои концентратсияаш зиёди маҳлул ба ҷои концентратсияаш кам ҳаракат мекунад, яъне дифузия рӯй медиҳад ва дар натиҷа, бо мурури вақт концентратсияи маҳлул дар тамоми ҳаҷми он баробар мегардад. Азбаски солвататсия протсеси химиявӣ бо молекула ё ионҳои моддаи ҳалшаванда пайваст гардидани молекулаҳои ҳалкунанда аст, он протсеси экзотермӣ мебошад. Аз ин ҷо маълум мегардад, ки протсеси дар моеъ ҳалшавии моддаи сахт аз ду протсес- экзотермӣ ва эндотермӣ иборат будааст. Эффеќти гармии дар миқдори зиёди ҳалкунанда ҳал шудани як



мол моддаро гармии ҳалшавии моддаи мазкур меноманд. Агар миқдори гармиро, ки барои вайрон кардани панҷараи кристалии моддаи ҳалшаванда ва дифузияи он сарф мегардад, бо  $Q_1$  ва миқдори гармии ҳангоми ба вучуд омадани солват хорич шавандаро (гармии солвататсия) бо  $Q_2$  ифода намоем, гармии ҳалшавиро мувофиқи формулаи  $Q=Q_1+Q_2$  муайян мекунаманд (қимати  $Q_1$  ҳамеша манфист). Аз ҳамин сабаб эффекти гармии ҳалшавии моддаҳои саҳт  $Q$  (гармии ҳалшавӣ) ба фарқи миқдори гармиҳои ин ду протсес вобаста аст.

Ҳалшавандагии аксарияти моддаҳои саҳт бо баланд гардидани температура меафзояд. Барои ҳар як температура маҳлули сери моддаро тайёр кардан мумкин аст. Барои ифода кардани миқдори моддаи ҳалшаванда дар маҳлули сер ибораи «ҳалшавандагӣ»-ро истифода мебаранд. Миқдори моддаи ҳалшаванда, ки дар 100 г ҳалкунанда дар температураи муайян маҳлули сер ҳосил карда метавонад, меъёри ҳалшавандагии модда ном гирифтааст.

Дар расми 3.36 вобастагии ҳалшавии баъзе намакҳо (бо г) дар 100 г об ба температура тасвир ёфтааст. Аз расм дида мешавад, ки бо баландшавии температура ҳалшавӣ меафзояд.

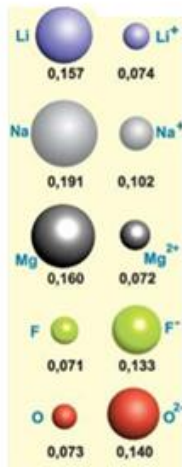


Расми 3.36

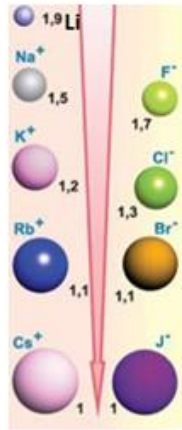
Ҳангоми кристали намаки оширо ба об дохил намудан ионҳои дар сатҳи кристалбуда молекулаҳои кутбноки обро ба худ ҷазб мекунаманд. Ба ионҳои натрий молекулаҳои об бо кутби манфиашон ва бо ионҳои хлор бо кутби мусбаташон ҷазб мешаванд. Чунин протсес дутарафа мебошад, чунки молекулаҳои об низ ионҳоро ба худ мекашанд. Таъсири мутақобилии ионҳо ва молекулаҳои об боиси гидрататсия мегардад.



Андозаи атомҳо ва ионҳо (нм)



Вобастагии энергияи гидратацияи ионҳо аз андозаи онҳо



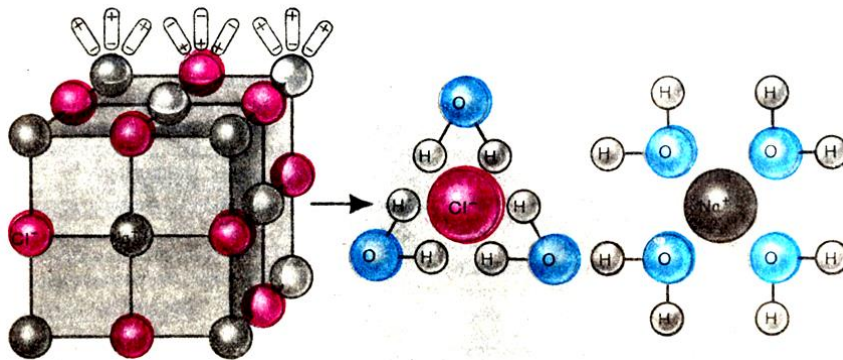
Моделҳои молекулаҳои об



Моделҳои иони гидросоний

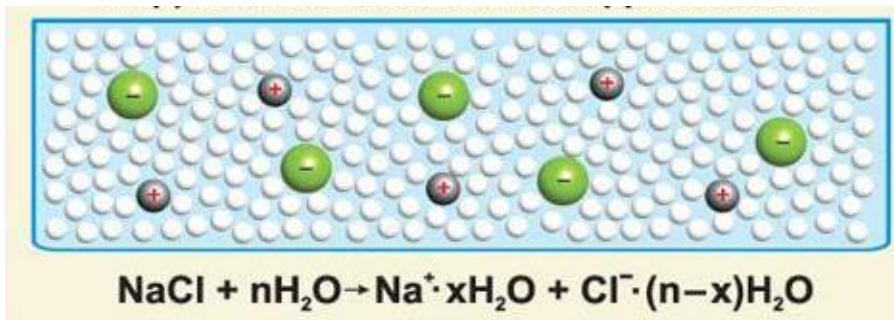
Расми 3.37 Гидрататсияи ионҳо

Бо зиёдшавии радиуси катионҳо (аз Li<sup>+</sup> то Cs<sup>+</sup>) энергияи гидрататсия ва адади гидрататсия (адади молекулаҳои об, ки бо катион якҷоя ҳаракат менамоянд) кам мешавад. Молекулаҳои об бо катион бо оксигенаш пайваст мешавад бо анион – бо гидрогенаш (расми 3.38). Дар расми 3.38, а диссоциатсияи моддаҳои робитаи ионӣ дошта (дар мисоли хлориди натрий) ва дар расми 3.38 б) модели маҳлули намаки ошӣ тасвир ёфтаанд.



Кристалли намаки ошӣ то ҳалшавӣ дар об

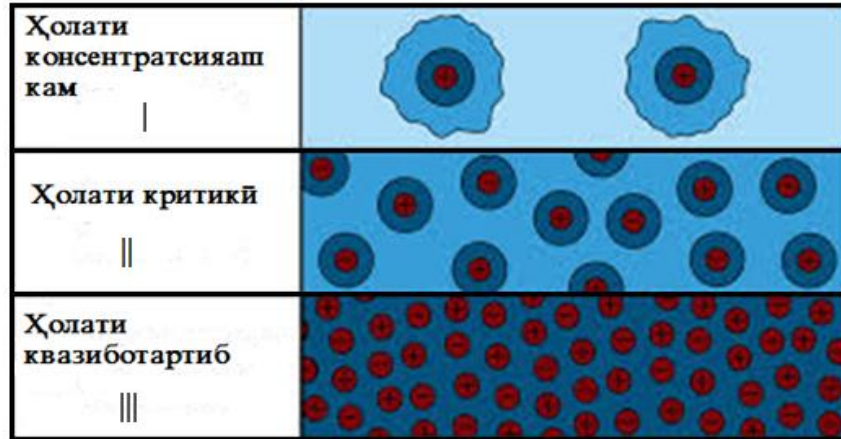
Ионҳои гидрататсияшуда дар об а)



б)

Расми 3.38 Моделҳои маҳлули хлориди натрий

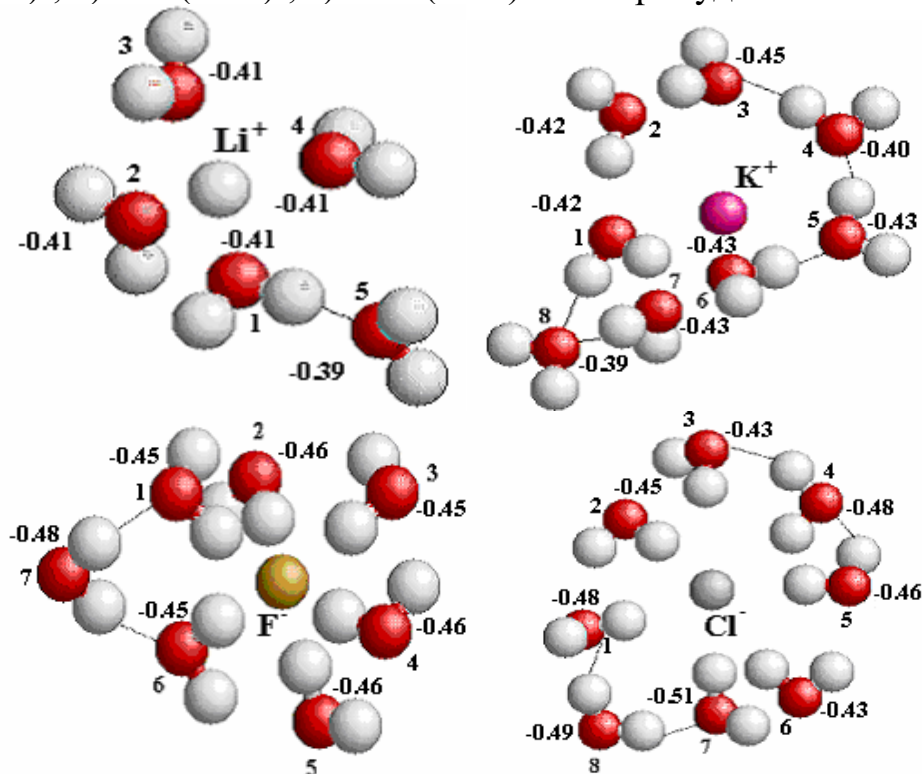
Дар консентратсияҳои кам танҳо ионҳои гидрататсияшуда мавҷуданд. Дар ҳолати критикӣ молекулаҳои об пурра дар қабатҳои гидрататсия ҷой гирифтаанд. Дар консентратсияҳои баланд ҳолати квазиботартиб ба вуҷуд меояд, ки сохтораш ба кристалогидратҳои ҳамон намак монанд аст (расми 3.39).



Расми 3.39

Қабатҳои гидрататсияи катион ва анион дар маҳлулҳои обӣ намегузоранд, ки ионҳо ба ҳамдигар расида ҷуфти ионии расиш ё молекула ташкил диҳанд. Дар маҳлулҳои обӣ ҷуфти ионҳо аз ионҳои гидрататсияшуда ташкил ёфтанишон имконпазир аст. Пас, дар маҳлулҳои обӣ ионҳои озоди гидрататсияшуда ва ҷуфти ионие, ки аз ионҳои гидрататсияшуда ба вуҷуд омадаанд, мавҷуданд.

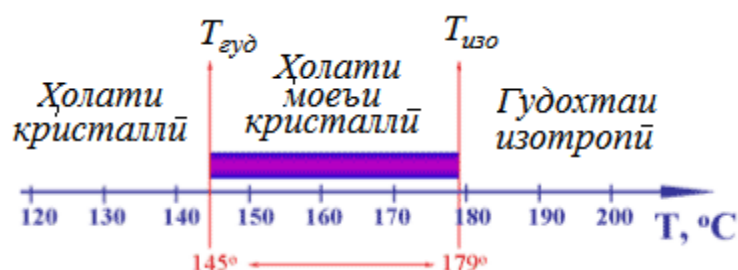
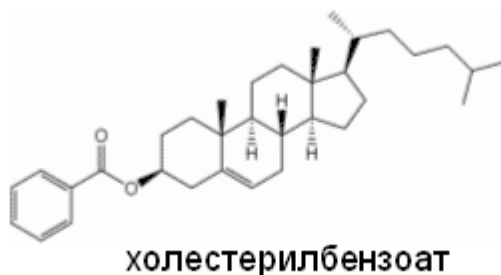
Дар расми 3.40 структураи ионҳои гидрататсияшуда: а)  $\text{Li}^+ - (\text{H}_2\text{O})_5$ ; б)  $\text{K}^+ - (\text{H}_2\text{O})_8$ ; в)  $\text{F}^- - (\text{H}_2\text{O})_7$ ; г)  $\text{Cl}^- - (\text{H}_2\text{O})_8$  тасвир шудааст.



Расми 3.40

### §3.18 Кристалҳои моеъ (КМ)

Соли 1889 ботаники австралиягӣ Рейнитсер ҳангоми тадқиқи кристалли ҳосилнамудааш-холестерилбензоат мушоҳида намуд, ки холестерилбензоати саҳти кристалӣ дар температураи 145 °C ба ҳолати кристалии моеъ (моеъи тира) мегузарад, ки дар 170 °C ба моеъи муқаррарии изотропии шаффоф табдил меёбад. Дар мавриди сардгардонӣ протсеси акс ба мушоҳида мерасад.



Кристалҳои ҳосилкардаи Рейнитсерро соли 1889 физики немис Леманн бо микроскопи поляризатсионӣ омӯхта муқаррар намуд, ки фазаи тира анизотропӣ аст. Модда дар фазаи тира моеъ буд, аммо хосияти анизотропӣ ба кристалҳо хос аст ва Леманн ин ҳолатро кристалии моеъ номид.  $\bar{U}$ , инчунин, хосияти анизотропиро дар *n*-азоксианизон, олеати аммоний ва кислотаи азоксианизонӣ мушоҳида намудааст. Ҳоло теъдоди моеъҳои хосияти анизотропӣ дошта ниҳоят зиёд аст. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки кристалҳои моеъ дар интервали муайяни температура вучуд дошта метавонанд. Дар температураҳои аз ин ҳудуд боло модда дар ҳолати аморфӣ-моеъ ва дар температураҳои аз ин ҳудуд паст дар ҳолати саҳтӣ – кристалӣ вучуд доранд. Ин гузаришҳо бо фурубурд ё хориҷи гармӣ ба вучуд меоянд, аз ин рӯ, гузаришҳои фазавии ҷинси яқум ба ҳисоб мераванд. Моддаҳои кристалии моеъ, чун дигар пайвастиҳои органикӣ, қаторҳои гомологиро ташкил медиҳанд.

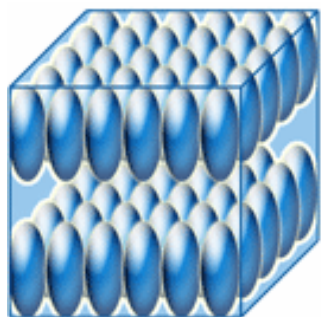
Кристалҳои моеъ, ҳолати устувори баъзе моддаҳо, ки аз рӯи хосиятҳои худ ҳолати мобайнии моеъ ва кристал мебошад, дар моддаҳои органикӣ, ки молекулаҳои шакли қадқашида доранд, ташкил ёфта, бештар дар пайвастиҳои ароматӣ дучор мешаванд. Мисли моеъҳои муқаррарӣ кристалҳои моеъ низ ҷоришаванда буда, қатраҳои (сферавӣ, дарозшакл, ҳатто зинашакл) ташкил медиҳанд, аммо хосиятҳои оптикӣ, электрӣ, магнитӣ ва дигар хосиятҳои онҳо, монанди ҷисмҳои саҳти кристалӣ, анизотропӣ мебошанд. Анизотропияи кристалҳои моеъ на ба соҳти молекулаҳо-

яшон, балки ба ориентатсияшавии (самтгирии) мутақобилаи онҳо вобаста мебошад.

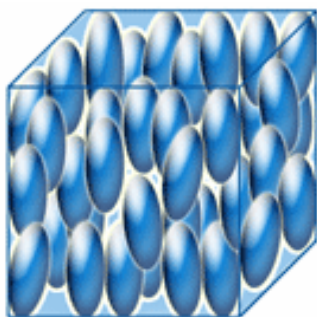
Кристаллографи франсавӣ Жорж Фридел кристаллҳои моеъро аз рӯи тавсифи тартиби ҷойгирии молекулаҳо яшон ба се навъи асосии структуравӣ: смектикӣ, нематикӣ ва холестерикӣ ҷудо намудааст. Ботартибии камтарин дар кристаллҳои моеъи нематикӣ мушоҳида мешавад. Молекулаҳои онҳо параллелан ориентатсия шудаанд, аммо нисбат ба меҳварашон дар масофаи дилхоҳ кӯчидаанд, яъне маркази онҳо бетартиб ҷойгиранд. Агар КМ-и нематикро зери микроскопи поляризатсионӣ мушоҳида намоём, риштаеро мебинем, ки сарҳади ҷойгиршавии молекулаҳо тағйир медиҳад. Аз ин ҷо «нематикӣ» аз калимаи юнонии «нема»-ришта гирифта шудааст. Молекулаҳои КМ-и нематикӣ дар гирди меҳварҳои дароз ва кӯтоҳашон давр мезананд. Дар КМ тартиби ориентатсионии дур ҷой дорад (расми 3.41).

Дар КМ-и смектикӣ молекулаҳо нисбат ба якдигар параллел буда, қабат-қабат ҷой гирифтаанд ва инро аввалин маротиба дар собун мушоҳида намудаанд. Калимаи «смектикӣ» аз калимаи юнонии «смегма»-собун гирифта шудааст. Часпакии КМ-и смектикӣ зиёд мебошад. Молекулаҳои ин намуди КМ дар атрофии тири дарозашон давр мезананд, аммо аз як қабат ба қабати дигар гузашта наметавонанд.

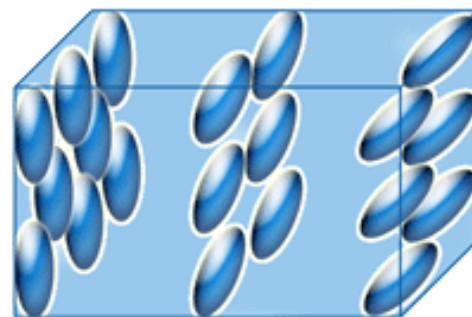
Дар КМ-и холестерикӣ чун КМ-и смектикӣ молекулаҳо қабат-қабат ҷойгиранд, аммо ба монанди КМ-и нематикӣ дар дохили ҳар як қабат параллел ҷойгиршавии меҳвари молекулаҳо мушоҳида мешавад. Структураи КМ холестерикӣ ба сохтори нематикӣ монанд буда, аз онҳо бо он фарқ мекунад, ки гузариш аз як қабат ба дигараш ориентатсияи қабатҳо нисбат ба якдигар ба кунҷи на он қадар зиёд тағйир медиҳад, яъне дар атрофи перпендикуляр ба меҳварашон тобхӯрда мебошанд. Барои ду қабати ҳамсоя кунҷи чархзанӣ  $0,5^\circ$  ва масофаи байни қабатҳо ба буриши арзии молекула баробар мебошад. Эфирҳои холестерӣ КМ-и холестерикиро ташкил медиҳанд. Дар байни қабатҳо низ ботартиб ҷойгиршавӣ мушоҳида мешавад (расми 3.42).



Тартиби смектикӣ



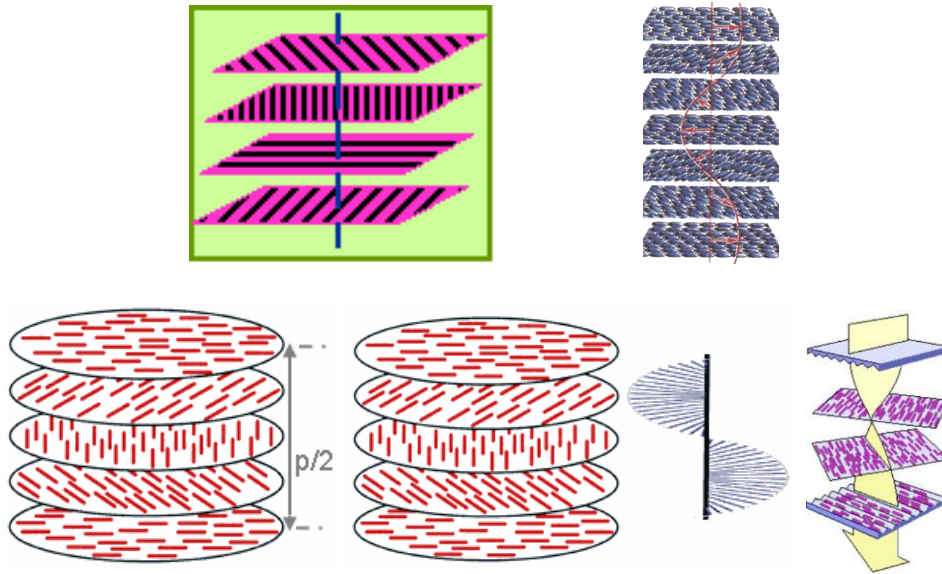
Тартиби нематикӣ



Тартиби холестерикӣ

Расми 3.41





Расми 3.42. Сохтори холестрикҳо

Дар майдони электрии пурзӯр КМ-и шаффоф рӯшноиро зиёд парешон менамоянду тира мегарданд. Баъди қатъи майдони электрӣ намуна ба ҳолати ибтидоиаш бармегардад. КМ смектикие, ки часпакии зиёд доранд, истисно мебошанд. онҳо таъсирро вақти зиёд «дар хотир нигоҳ медоранд». Мисол, қабати КМ смектикӣ тақрибан то  $10^5$  Па фишурда шудан шаффоф аст, баъди қатъи фишориш хира мегардад. Ҳангоми такроран фишурдан шаффофиаш барқарор мешавад. Ин эффектро дар пневмоавтоматика истифода мебаранд.

Дар КМ тағйирёбии сохтори дохилиашон бо афканишоти мавҷҳои чандир якҷоя ба амал меояд. Масалан, дар фазаи нематикӣ ба сифати манбаи афканишоти акустикӣ дефектҳои локалӣ (дислокатсияи нуқтагӣ ё хаттӣ) хизмат менамояд. Фаъолии максималии акустикӣ ба гузариши нематик-мухити изотропӣ рост меояд. Ба ин эффект методи санҷиши акустикӣ КМ асос карда шудааст. Аз дигар тараф, таъсири на он қадар зиёди беруна, ки бо сели мавҷҳои садо ба даст меояд, ба тағйироти зиёди сохторӣ меорад. Дар натиҷа, ба тағйирёбии хосиятҳои оптикӣ ба осонӣ қайдшаванда оварда мерасонад. Ба ин принцип идоракунии акустикӣ элементҳои фаъоли КМ сохта шудаанд.

Сохтори молекулавии КМ-и холестерикӣ ба таъсири ниҳоят ками берунӣ ҳасос мебошанд. Масалан, ҳангоми баландшавии температура рангашон аз бунафш то сурх тағйир меёбад. Ин эффектро барои андозагирии дақиқи температура истифода мебаранд.

КМ татбиқи васеъи амалӣ доранд. Хусусан, дар системаи коркард ва тасвири ахборе, ки хосиятҳои электрооптикӣ КМ истифода мешаванд, ба мисли индикаторҳои ҳарфӣ-рақамӣ дар микрокалькуляторҳо ва соатҳои электронӣ, телевизор ва мониторҳои ҳамвор. Тадқиқи кристалҳои моеъ барои биология, техника ва алалхусус, тиб аҳамияти амалии зиёд дорад, чунки бештари моддаҳои органикӣ организми одам дар чунин ҳолат мебошанд.

### Намунаи ҳалли масъалаҳо

**3.1.** Як киломол гази туршии карбон дар температураи  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ҷойгир аст. Газро нахуст а) реалӣ баъд б) идеалӣ ҳисобида, фишори онро муайян намоед. Масъаларо барои ҳаҷмҳои  $V_1=1\text{ м}^3$  ва  $V_2=0,05\text{ м}^3$  ҳал кунед.

Маълумот:

$$\nu = 10^3 \text{ мол}$$

$$T = 373 \text{ К}$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 0,05 \text{ м}^3$$

$$P = ?$$

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

$$a = 0,364 \frac{\text{Па м}^6}{\text{мол}^2}; b = 4,26 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{мол}}$$

$$P_1 = 2,9 \text{ МПа}; P_2 = 273 \text{ МПа}$$

$$\text{б) } PV = \nu RT; P = \frac{\nu RT}{V}. P_1 = 3,1 \text{ МПа}; P_2 = 61,8 \text{ МПа}$$

**3.2.** Дар зарфи ғунҷоишаш  $10\text{ л}$  нитрогени массааш  $m=0,25\text{ кг}$  ҷойгир аст. Фишори дохилии газ ва ҳаҷми хусусии молекула муайян карда шавад.

Маълумот:

$$V = 10 \text{ л}$$

$$m = 0,25 \text{ кг}$$

$$P' = ?$$

$$V' = ?$$

$$\text{Ҳал: } P' = \frac{\nu^2 a}{V^2} = \left(\frac{m}{M}\right)^2 \cdot \frac{a}{V^2}$$

$$a = 0,137 \text{ Нм}^4 / \text{мол}^2$$

Дар муодилаи Ван-дер-Ваалс:

$$\nu \cdot b = 4V', V' = \frac{\nu \cdot b}{4} = \frac{m \cdot b}{4M} = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Ҷавоб:  $108\text{ кПа}$ ,  $86,2\text{ см}^3$ .

**3.3.** Фишори  $\nu = 1\text{ мол}$  оксигенро, ки ҳаҷми  $V=0,5\text{ л}$  ро дар температураи  $T=300\text{ К}$  ишғол менамояд, ёбед. Натиҷаи ҳосил кардаатонро бо фишоре, ки бо муодилаи Менделеев-Клапейрон ҳосил мешавад, муқоиса кунед.

Маълумот:

$$\nu = 1 \text{ мол}$$

$$V = 0,5 \text{ л}$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$P = ?$$

$$(p + \nu^2 a / V^2)(V - \nu \cdot b) = \nu \cdot RT,$$

$$\text{Ҳал: } p = \frac{\nu \cdot RT}{V - \nu \cdot b} - \nu^2 \frac{a}{V^2} = 478 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$pV = \nu RT, p = \frac{\nu RT}{V} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Ҷавоб:  $478\text{ МПа}$ ,  $5\text{ МПа}$ .

**3.4.** Дар температураи  $T=300\text{ К}$  як мол гази туршии карбон дар зарфи ғунҷоишаш  $V=0,3\text{ л}$  ҷойгир аст. Фишори газро бо истифода: 1) аз муодилаи Менделеев-Клапейрон; 2) аз муодилаи Ван-дер-Ваалс муайян кунед.

Маълумот:

$$\nu = 1 \text{ мол}$$

$$V = 0,3 \text{ л}$$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$P = ?$$

$$1) pV = \nu RT, p = \frac{\nu RT}{V} = 8,31 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\text{Ҳал: } 2) \left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right) \cdot (V - \nu \cdot b) = \nu RT,$$

$$p = \frac{\nu RT}{V - \nu \cdot b} - \frac{\nu^2 a}{V^2} = 5,67 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Ҷавоб:  $8,31\text{ МПа}$ ,  $5,67\text{ МПа}$ .

**3.5.** Як мол криптон дар температураи  $T=300\text{ К}$  ҷойгир аст. Ҳатогии нисбӣ, ки фишорро на бо муодилаи Ван-дер-Ваалс, балки бо муодилаи Мен-

делеев - Клапейрон ҳисоб карданд  $\varepsilon = \Delta p / p$ -ро ёбед. Ду мавридро муқоиса намоед: а)  $V=2$  л; б)  $V=0,2$  л.

Маълумот:

$$\nu = 1 \text{ мол}$$

$$T=300 \text{ К}$$

а)  $V=2$  л, б)  $V=0,2$  л

$$\varepsilon = \Delta p / p \text{ ? } P=?$$

Ҳал:

$$pV = \nu RT, p_1 = \frac{\nu RT}{V},$$

$$p_2 = \frac{\nu RT}{V - \nu \cdot b} - \frac{\nu^2 a}{V^2}, \varepsilon = \frac{p_1 - p_2}{p_2}$$

$$\varepsilon = \frac{\nu RT(V - \nu b)V}{\nu RTV^2 - \nu^2 a(V - \nu b)} - 1 = \frac{RTV(V - \nu b)}{RTV^2 - \nu a(V - \nu b)} - 1$$

$$\text{а) } \varepsilon = 0,0264; \text{ б) } 0,272.$$

Ҷавоб: 0,0264; 0,272.

3.6. Холигии дохилии балони пӯлодии девораш ғафсро то нисфаш бо оби температурааш муътадил пур карданд. Баъди ин балонро герметикӣ маҳкам ва то температураи  $T=650$  К гарм карданд. Фишори буғҳои обро дар балон дар ин температура муайян намоед.

Маълумот:

$$T=650 \text{ К}$$

$P=?$

$$\text{Ҳал: } P = \frac{\nu RT}{V - \nu \cdot b} - \frac{\nu^2 a}{V^2}, \quad V - \text{ ҳаҷми зарф}$$

$$V_1 = \frac{V}{2} - \text{ ҳаҷми об } m_{об} = \rho V_1 = \rho \frac{V}{2}, V = \frac{2m}{\rho}$$

$$P = \frac{(m/M)RT}{V - \nu \cdot b} - \frac{m^2 a}{M^2 V^2},$$

$$P = \frac{mRT}{2mM / \rho - mb} - \frac{m^2 a}{M^2 (2m / \rho)^2},$$

$$P = \frac{\rho RT}{2M - \rho \cdot b} - \frac{\rho^2 a}{4M^2} = 544 \text{ МПа}$$

Ҷавоб:  $P=544$  МПа.

3.7. Фишори оксиген 7МПа ва зичиаш  $\rho = 100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  аст. Температураи оксигенро муайян кунед.

Маълумот:

$$P=7 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

$$\rho = 100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$T=?$

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

$$V = \frac{m}{\rho}, \nu = \frac{m}{M},$$

$$\text{Ҳал: } \left( P + \frac{m^2 a \rho^2}{M^2 m^2} \right) \cdot \left( \frac{m}{\rho} - \frac{m}{M} b \right) = \frac{mRT}{M},$$

$$T = \frac{1}{R} \left( \frac{MP}{\rho} - \rho \cdot b - \frac{ab\rho^2}{M^2} \right) = 287 \text{ К},$$

Ҷавоб:  $T=287$  К.

3.8. Фишори буғҳои оби массааш  $m=1$  кг-ро дар температураи  $T=380$  К ва ҳаҷми  $V$ : 1) 1000 л, 2) 10 л; 3) 2 л ёбед.

Маълумот:

$$m=1\text{ кг}$$

$$T=380\text{ К}$$

$$1) V=1000\text{ л}$$

$$2) V=10\text{ л}$$

$$3) V=2\text{ л}$$

$$P=?$$

$$P = \frac{mRT}{M\left(V - \frac{m \cdot b}{M}\right)} - \frac{m^2 a}{M^2 V^2},$$

Ҳал:

$$1) V_1 = 1\text{ м}^3 P_1 = 174\text{ кПа}$$

$$2) V_2 = 10^{-2}\text{ м}^3 P_2 = 3,94\text{ МПа}$$

$$3) V_3 = 2 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3 P_3 = 101\text{ МПа}$$

Ҷавоб: 174 кПа, 3,94 МПа, 101 МПа.

3.9. Доимиҳои  $a$  ва  $b$ -ро дар муодилаи Ван-дер-Ваалс барои нитроген ҳисоб кунед, агар маълум бошад, ки температураи критикӣ ба  $T_{кр} = 128\text{ К}$  ва фишори критикӣ ба  $P_{кр} = 3,39\text{ МПа}$  баробаранд.

Маълумот:

$$T_{кр} = 128\text{ К}$$

$$P_{кр} = 3,39\text{ МПа}$$

$$a=?$$

$$b=?$$

$$\text{Ҳал: } P_{кр} = \frac{a}{27b^2}, T_{кр} = \frac{8a}{27Rb} \quad a = 27b^2 P_{кр}, a = \frac{27RbT_{кр}}{8}$$

$$27b^2 P_{кр} = \frac{27RbT_{кр}}{8}, b = \frac{RT_{кр}}{8P_{кр}} = 3,86 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{мол}$$

$$a = 27b^2 P_{кр} = 0,136\text{ Нм}^4 / \text{мол}^2$$

Ҷавоб:  $a=0,136\text{ Па м}^6/\text{мол}^2$ ;  $b = 3,86 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{мол}$ .

3.10. Температура ва фишори критикиро барои оксиген ва об ҳисоб кунед.

Маълумот:

Барои оксиген

$$a=0,136\text{ Па м}^6/\text{мол}^2$$

$$b=3,17 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3/\text{мол}$$

Барои буғи об

$$a=0,545\text{ Па м}^6/\text{мол}^2$$

$$b=3,04 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3/\text{мол}$$

$$T_{кр}=? \quad P_{кр}=?$$

$$\text{Ҳал: } T_{кр} = \frac{8a}{27Rb}, P_{кр} = \frac{a}{27b^2}$$

Барои оксиген:

$$T_{кр}=152\text{ К}, P_{кр}=5\text{ МПа.}$$

Барои буғи об:

$$T_{кр}=640\text{ К}, P_{кр}=22\text{ МПа.}$$

Ҷавоб:

$$T_{кр}=152\text{ К}, P_{кр}=5\text{ МПа}, T_{кр}=640\text{ К}, P_{кр}=22\text{ МПа.}$$

3.11. Температураи критикӣ барои аргон 151 К ва фишори критикӣ  $P_{кр} = 4,86\text{ МПа}$ . Аз ин маълумотҳо ҳаҷми молии критикиро барои аргон ёбед.

Маълумот:

$$T_{кр} = 151\text{ К}$$

$$P_{кр} = 4,86\text{ МПа}$$

$$V_{кр}=?$$

$$\text{Ҳал: } \left. \begin{aligned} P_{кр} &= \frac{a}{27b^2} \\ T_{кр} &= \frac{8a}{27Rb} \end{aligned} \right\} \Rightarrow b = \frac{RT_{кр}}{8P_{кр}},$$

$$V_{кр} = 3b = \frac{3RT_{кр}}{8P_{кр}} = 96,8 \cdot 10^{-6}\text{ м}^3 / \text{мол.}$$

Ҷавоб: 96,8 см<sup>3</sup>/мол.

3.12. Доимиҳои Ван-дер-Ваалсро барои гази туршии карбон ҳисоб кунед, агар температураи критикиаш  $T_k=562\text{ К}$  ва фишори критикиаш  $P_k=75\text{ атм}$  бошад.

$$\text{Ҳал: } P_k V_k = \frac{3}{8} RT_k; \quad \frac{P_k}{RT_k} = \frac{1}{8b}; \quad b = R \frac{T_k}{8P_k} = 0,043 \frac{\text{л}}{\text{мол.}}$$



$$\frac{(RT_k)^2}{P_k} = \frac{64a}{27}; \quad a = \frac{27}{64} \frac{(RT_k)^2}{P_k} = 3,59 \frac{\text{атм л}^2}{\text{мол}^2}.$$

3.13. Ҳаҷми хоси бензолро ( $C_6H_6$ ) дар ҳолати критикӣ муайян намоед, агар  $T_k=562$  К ва  $P_k=47$  атм бошанд.

Ҳал:  $v_k = \frac{V_k}{M} = \frac{3RT_k}{8MP_k} = 4,71 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$

3.14. Бо истифода аз доимиҳои Ван-дер-Ваалс ёбед, ки: а) ҳаҷми калонтаринро, ки 1 кг об дар ҳолати моеъ ишғол мекунад; б) фишори зиёдтарини бӯғҳои сери об чӣ қадаранд.

Ҳал: а)  $V_{max} = \frac{3bm}{M} = 5 \text{ л} = V_{min}$  бӯғӣ;

б)  $P_{max} = \frac{a}{27b^2} = P_k = 230 \text{ атм}.$

3.15. Гази туршии карбонро гази ванн-дер-ваалсӣ ҳисобида температура ва зичии онро дар ҳолати критикӣ ёбед.

Ҳал:  $T_k = \frac{8}{27} \frac{a}{bR} = 304 \text{ К}; \quad \rho_k = \frac{M}{3b} = 340 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

3.16. Ҳаҷми зиёдтарине, ки оби микдори моддааш  $\nu = 1$  мол ишғол карда метавонад, муайян кунед.

Маълумот:  $\nu = 1$  мол  
Ҳал:  $V_{max} = V_{min}\nu = 3b\nu = 91,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$

$V_{max}=?$  Ҷавоб:  $91,2 \text{ см}^3.$

3.17. Зичии бӯғҳои обро дар ҳолати бӯҳронӣ муайян кунед.

Маълумот:  $\rho = ?$   
Ҳал:  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{P_{кр}M}{RT_{кр}}$ , азбаски  $PV = \frac{m}{M}RT$

$$P_{кр} = \frac{a}{27b^2}, T_{кр} = \frac{8a}{27Rb}, m = \frac{PVM}{RT}$$

$$\rho = \frac{a \cdot M \cdot 27R \cdot b}{27Rb^2 R \cdot 8a} = \frac{M}{8b} = 74 \text{ кг/м}^3.$$

Ҷавоб:  $74 \text{ кг/м}^3$

3.18. Фишори зиёдтарини бӯғҳои сери обро муқаррар намоед.

Маълумот: Ҳал:

$$P_{max} = ? \quad P_{max} = P_{кр} = \frac{a}{27b^2} = 21,8 \text{ МПа}.$$

Ҷавоб:  $21,8 \text{ МПа}.$

3.19. Концентратсияи молекулаҳои нитроген дар ҳолати критикӣ назар ба ҳолати нормалӣ (мӯътадил) чанд маротиба зиёд аст?

Маълумот:  $\frac{n_{кр}}{n_0} = ?$   
Ҳал:  $n_0 = \frac{P}{kT}; n_{кр} = \frac{P_{кр}}{kT_{кр}}; \quad \frac{n_{кр}}{n_0} = \frac{P_{кр} T}{T_{кр} P}; P_{кр} = \frac{a}{27b^2};$

$$T_{кр} = \frac{8a}{27Rb}; \frac{n_{кр}}{n_0} = \frac{TR}{8Pb} = 73. \text{ Ҷавоб: } 73 \text{ маротиба.}$$

3.20. Ҳаҷми критикии 1)  $m=0,5$  г оксиген ва 2)  $m=1$  г обро муайян кунед.

Маълумот:

- 1)  $m=0,5$  г оксиген  
2)  $m=1$  г об  
 $V_{кр}=?$

Ҳал:

$$V_{кр} = v \cdot 3b = \frac{m}{M} 3b;$$

$$1) V_{кр} = 1,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$2) V_{кр} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Ҷавоб:  $1,49 \text{ см}^3; 5 \text{ см}^3.$

3.21. Агар температураи газ аз температураи Бойл паст бошад, ҳангоми изотермӣ фишурдан ҳосили зарби  $PV$  аввал кам мешавад, аз минимум мегузарад, баъд ба афзудан сар мекунад. Дар мавриди температураи газ аз температураи Бойл баланд будан ҳангоми изотермӣ фишурдан ҳосили зарби  $PV$  мунтазам меафзояд. Ба ин боварӣ ҳосил кунед ва температураи Бойлро бо температураи критикӣ барои газҳое, ки ба муодилаи Ван-дер-Ваалс иттоат мекунанд, ифода намоед.

Ҳал: Барои ҳалли масъала  $PV$ -ро ҳамчун функсияи зичӣ ҳисобида шартеро ёфтани лозим аст, ки ҳангоми  $\rho = 0$  ҳосилаи  $\frac{d(PV)}{d\rho} = 0$  мешавад.

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT; PV = RT + bP - a\frac{\rho}{m} + \frac{ab}{m^2}\rho^2;$$

$$\frac{d(PV)}{d\rho} = b\frac{dP}{d\rho} - \frac{a}{m} + \frac{2ab}{m^2}\rho = 0; \frac{dP}{d\rho} = \frac{a}{bm}; P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2};$$

$$\frac{dP}{d\rho} = \frac{a}{bm} = \frac{\frac{RT}{m}}{\left(1 - \frac{b\rho}{m}\right)^2} - \frac{2a\rho}{m^2}; \text{ ҳангоми } T = T_B \text{ будан ва } \rho = 0$$

$$\frac{RT_B}{m} = \frac{a}{bm}; T_B = \frac{a}{bR} = \frac{27}{8} T_k.$$

Ҷавоб:  $T_B = \frac{a}{bR} = \frac{27}{8} T_k.$

3.22. Дар ҷадвали зерин барои баъзе газҳо доимииҳои Ван-дер-Ваалс оварда шудаанд. Ин бузургӣҳоро истифода бурда фишори критикӣ, температураи критикӣ, ҳаҷми критикӣ ва температураи Бойлро барои газҳои овардашуда ёбед. Чунин пиндоред, ки ин газҳо ба муодилаи Ван-дер-Ваалс иттоат мекунанд.

Газ	a, Па м <sup>6</sup> /мол <sup>2</sup>	b, 10 <sup>-5</sup> м <sup>3</sup> /мол
Гелий	0,034	2,37
Гидроген	0,24	2,66
Нитроген	0,137	3,86
Оксиген	0,136	3,17
CO <sub>2</sub>	0,361	4,28
Аргон	0,134	3,22

Буғи об	0,545	3,04
Неон	0,209	1,70
Хлор	0,650	5,62

Ҳал:

Газ	$V_k, 10^{-6} \text{ м}^3$	$P_k, \text{ МПа}$	$T_k, \text{ К}$	$T_B, \text{ К}$
Гелий	71,1	0,224	5,17	17,5
Гидроген	79,8	1,26	12,6	32,7
Нитроген	117,0	3,35	128	433
Оксиген	95,4	5,08	155	524
СО <sub>2</sub>	128	7,38	304	1000
Аргон		4,86	151	
Буғи об		22,1	647	
Неон		22,72	44,4	
Хлор		7,71	417	

**3.23.** Барои газҳои реалӣ муодилаҳои ҳолати зиёди эмпирикӣ ва нимэмпирикӣ пешниҳод шудаанд. Баъзеи онҳо дар зер оварда шудаанд.

Муодилаи Бертло:  $(P + \frac{a}{TV^2})(V - b) = RT.$

Муодилаи Клаузиус:  $(P + \frac{a}{T(V+c)^2})(V - b) = RT.$

Муодилаи якуми Дитерич:  $P(V - b) = RT \exp\left\{-\frac{a}{RTV}\right\}.$

Муодилаи дуҷуми Дитерич:  $(P + \frac{a}{V^{\frac{5}{3}}})(V - b) = RT.$

$a, b, c$  – доимиҳо. Барои ин муодилаҳо параметрҳои критикӣ  $P_k, T_k, V_k$ , бузургии коэффисиенти критикӣ  $\frac{RT_k}{P_k V_k}$  ва температураи Бойл  $T_B$  –ро муайян намоед.

Ҳал: Барои муодилаи Бертло:  $P_k^2 = \frac{Ra}{216b^2}, T_k^2 = \frac{8a}{27Rb}, V_k = 3b;$

$$\frac{RT_k}{P_k V_k} = \frac{8}{3}; T_B = \sqrt{\frac{a}{Rb}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} T_k.$$

Барои муодилаи Клаузиус:  $P_k^2 = \frac{Ra}{216(b+c)^2}, T_k^2 = \frac{8a}{27R(b+c)}, V_k = 3b + 2c;$

$$\frac{RT_k}{P_k V_k} = \frac{8(b+c)}{3b+2c}; T_B = \sqrt{\frac{a}{Rb}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{b+c}{b}} T_k.$$

Барои муодилаи якуми Дитерич:  $P_k = \frac{a}{4e^2 b^2}, T_k = \frac{a}{4Rb}, V_k = 2b;$

$$\frac{RT_k}{P_k V_k} = \frac{e^2}{2} \approx 3,7; T_B = \frac{a}{Rb} = 4T_k.$$

Барои муодилаи дуҷуми Дитерич:  $P_k = \frac{a}{4(4b)^{\frac{5}{3}}}, T_k = \frac{15ab}{4R(4b)^{\frac{5}{3}}}, V_k = 4b;$

$\frac{RT_K}{P_K V_K} = \frac{15}{4} = 3,75$ ; температураи Бойл дар ин маврид вучуд надорад.

**3.24.** Муодилаи Ван-дер-Ваалсро барои параметрҳои овардашуда нависед. Аз муодила истифода бурда, муайян намоед, ки температураи газ назар ба температураи критикӣ он чанд маротиба зиёд аст, агар фишораи аз фишори критикӣ 12 маротиба зиёд ва ҳаҷмаш аз ҳаҷми критикӣ ду маротиба хурд бошад.

Ҳал:  $\left(\pi + \frac{3}{v^2}\right)\left(v - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\tau$ ;  $\pi = 12, v = \frac{1}{2}, \tau = \frac{3}{2}$ .

Ҷавоб: Температураи газ аз температураи критикӣ 1,5 маротиба зиёд аст.

**3.25.** Гази миқдори моддааш  $v = 1$  мол дар температураи критикӣ ҳаҷми аз ҳаҷми критикӣ  $V_{кр}$  се маротиба зиёдро ишғол мекунад. Дар ин ҳолат фишори газ аз фишори критикӣ чанд маротиба кам аст.

Маълумот: Ҳал:

$v = 1$  мол  $\pi = p / p_{кр}; \omega = V_m / V_{мкк}; \tau = T / T_{кр};$

$V_{кр} = 3V$

$P_{кр} / P = ?$

$p = \pi P_{кр}; V_m = 3b\omega; T = \frac{8a}{27bR}\tau;$

$\left(\frac{a}{27b^2}\pi + \frac{a}{(3b\omega)^2}\right) \cdot (3b\omega - b) = R \frac{8a}{27bR}\tau;$

$(\pi + 3/\omega^2)(3\omega - 1) = 8\tau; \omega = 3; \tau = 1;$

$(\pi + 3/3^2)(3 \cdot 3 - 1) = 8;$

$\pi + \frac{1}{3} = 1; \pi = \frac{2}{3} = \frac{p}{p_{кр}}; \frac{P_{кр}}{P} = \frac{3}{2} = 1,5.$

Ҷавоб: 1,5 маротиба.

**3.26.** Агар ҳаҷм ва фишори оксиди нитроген аз бузургиҳои мувофиқи критикӣ  $V_{кр}$  ва  $P_{кр}$  се маротиба зиёд бошанд, температураи газро муайян кунед. Температураи критикӣ  $T_{кр}$  барои оксиди нитроген ба 180 К баробар аст.

Маълумот:

$V = 3 \cdot V_{кр}$

$P = 3 \cdot P_{кр}$

$T_{кр} = 180K$

$T = ?$

$\pi = \frac{P}{P_{кр}}; \omega = \frac{V_m}{V_{мкк}}; \tau = \frac{T}{T_{кр}};$

$(\pi + 3/\omega^2)(3\omega - 1) = 8\tau;$

Ҳал:  $\tau = \frac{1}{8}\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right) \cdot (3\omega - 1); T = \tau \cdot T_{кр};$

$T = \frac{1}{8}\left(3 + \frac{3}{9}\right) \cdot (9 - 1) \cdot 180 = \frac{10}{3} \cdot 180 = 600K$

Ҷавоб: 600 К.

**3.27.** Газ дар ҳолати критикӣ аст. Агар дар як вақт температура ва ҳаҷмашро ду маротиба зиёд кунем, фишораи назар ба фишори критикӣ чанд маротиба фарқ дорад?

Маълумот:  $\tau=2$  Ҳал:  $\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau;$   
 $\omega = 2$   $\pi + \frac{3}{\omega^2} = \frac{8\tau}{3\omega - 1}; \pi = \frac{8\tau}{3\omega - 1} - \frac{3}{\omega^2} = 2,45.$   
 $\pi = ?$   $\pi = \frac{P}{P_{кр}} = 2,45.$

Ҷавоб: 2,45 маротиба.

3.28. Газ дар ҳолати критикӣ аст. Агар температураашро изохорӣ 2 маротиба зиёд кунем, фишораш чанд маротиба меафзояд?

Маълумот: Ҳал:  
 $V = \text{const}$   $(\pi + 3/\omega^2)(3\omega - 1) = 8\pi;$   
 $\omega = \frac{V}{V_{кр}} = 1$   $\pi = \frac{8\tau}{3\omega - 1} - \frac{3}{\omega^2} = 5.$   
 $\tau=2$   $\pi = ?$   $\pi = \frac{P}{P_{кр}} = 5.$

Ҷавоб: 5 маротиба

3.29. Фишори газ назар ба фишори критикиаш чанд маротиба фарқ мекунад, агар ҳаҷм ва температураи он аз бузургиҳои критикӣ 2 маротиба зиёд бошанд?

Маълумот:  $v = 2; \tau = 2$  Ҳал:  
 $\pi = ?$   $\left(\pi + \frac{3}{v^2}\right)\left(v - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\tau;$   
 $\pi = \frac{8\tau}{3v - 1} - \frac{3}{v^2} \cdot \pi = 2,45.$

Ҷавоб: 2,45 маротиба.

3.30. Энергияи дохилии  $v = 1$  мол нитрогенро дар температураи критикӣ  $T_{кр}=126$  К муайян кунед. Ҳисобро барои чор бузургии ҳаҷм  $V$ : 1) 20 л; 2) 2 л; 3) 0,2 л; 4)  $V_{кр}$  иҷро намоед.

Маълумот:  $v = 1$  мол Ҳал:  
 $T_{кр}=126$  К  $U = C_v T - \frac{a}{V}; C_v = \frac{5}{2} R;$   
 1)  $V = 20$  л;  $U = \frac{5}{2} RT - \frac{a}{V}.$   $a=0,135$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>.  
 2)  $V = 2$  л;  
 3)  $V = 0,2$  л; Ҳангоми  $V_1$   $U_1=2,61$  кҶ; Ҳангоми  $V_2$   $U_2=2,55$  кҶ;  
 4)  $V = V_{кр}$  Ҳангоми  $V_3$   $U_3=1,94$  кҶ; Ҳангоми  $V_4$   $U_4=1,45$  кҶ.  
 $U = ?$  Ҷавоб: 2,61 кДж; 2,55 кДж; 1,94 кДж; 1,45 кДж.

3.31. Як мол оксиген дар температураи  $T=350$  К ҷойгир аст. Хатои нисби-ро дар ҳисоби энергияи дохилии газ муайян кунед, агар газро ҳамчун гази идеалӣ пиндорем. Ҳисобро барои ду бузургии ҳаҷм  $V$ :

1) 2 л; 2) 0,2 л иҷро намоед.

Маълумот: Ҳал:

$\nu = 1$  мол  
 $T_{кр} = 350$  К  
 1)  $V = 2$  л;  
 2)  $V = 0,2$  л  
 $\varepsilon = ?$

Энергияи дохилии гази идеалӣ:  $U_1 = \nu \cdot C_V T = \nu \frac{5}{2} RT$ .

Энергияи дохилии гази реалӣ:

$$U_1 = \nu(C_V T - a/V_m) = \nu \left( \frac{5}{2} RT - a/V_m \right);$$

$$\varepsilon = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = \frac{\frac{5}{2} RT - \frac{5}{2} RT + \frac{a}{V_m}}{\frac{5}{2} RT} = \frac{2a}{5V_m RT};$$

$$1) V_m = \frac{V}{\nu} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{мол}; \varepsilon_1 = 9,43 \cdot 10^{-3};$$

$$2) V_m = \frac{V}{\nu} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{мол}; \varepsilon_2 = 0,103.$$

Ҷавоб:  $9,43 \cdot 10^{-3}$ ;  $0,103$ .

3.32. Энергияи дохилии  $U$  гази ангидриди карбони массааш  $m = 132$  г -ро дар фишори муътадил  $P_0$  ва температураи  $T = 300$  К барои ду ҳолат: 1) ҳамчун гази идеалӣ, 2) ҳамчун гази реалӣ муайян кунед.

Маълумот:  
 $m = 132$  г  
 $P_0 = 100$  кПа  
 $T = 300$  К  
 $U = ?$

Ҳал: 1)  $U = \nu \cdot C_V T = \frac{i}{2} R \frac{m}{M} T; i = 6; U = 22437 \text{ Ҷ.}$

$$2) U = \nu \left( C_V T - \frac{a}{V_m} \right) = \frac{m}{M} \left( \frac{i}{2} RT - \frac{a}{V_m} \right); V_m = \frac{V}{\nu};$$

$$PV = \frac{m}{M} RT; V = \frac{mRT}{MP}; V_m = \frac{RT}{P};$$

$$U = \frac{m}{M} \left( \frac{6}{2} RT - \frac{aP}{RT} \right).$$

$$U = 22394 \text{ Ҷ.} \quad \text{Ҷавоб: } 22,437 \text{ кҶ, } 22,394 \text{ кҶ.}$$

3.33. Оксигени массааш  $m = 8$  г дар температураи  $T = 300$  К ҳаҷми  $V = 20$  см<sup>3</sup> -ро ишғол менамояд. Энергияи дохилии  $U$  оксигенро муайян кунед.

Маълумот:  
 $m = 8$  г  
 $V = 20$  см<sup>3</sup>  
 $T = 300$  К  
 $U = ?$

Ҳал:

$$U = \frac{m}{M} \left( C_V T - \frac{a}{V_m} \right); \quad V_m = \frac{V}{\nu} = \frac{VM}{m}; \quad C_V = \frac{i}{2} R;$$

$$U = \frac{m}{M} \left( \frac{i}{2} RT - \frac{am}{VM} \right) = 1,13 \text{ кҶ.} \quad \text{Ҷавоб: } 1,13 \text{ кҶ.}$$

3.34. Тағйироти энергияи дохилии  $\nu = 1$  мол неонро ҳангоми аз ҳаҷми  $V_1 = 1$  л то ҳаҷми  $V_2 = 2$  л изотермӣ васеъшавиаш муайян созед.

Маълумот: Ҳал:

$$\nu = 1 \text{ мол} \quad \Delta U = U_2 - U_1; \quad U = \nu(C_V T - a/V_m) = \frac{m}{M} \left( C_V T - \frac{ma}{MV} \right);$$

$V_1 = 1$  л

$V_2 = 2$  л

$\Delta U = ?$

$$\Delta U = \frac{m^2 a \cdot (V_2 - V_1)}{M^2 \cdot V_1 \cdot V_2} = \frac{\nu^2 a \cdot (V_2 - V_1)}{V_1 \cdot V_2} = 104 \text{ Ҷ.}$$

Ҷавоб:  $104$  Ҷ.

3.35. Ҳаҷми  $m=0,1$  кг гази туршии карбон аз  $V_1=10^3$  л то  $V_2=10^4$  л афзуд. Дар ин васеъшавии газ кори қувваҳои дохилии ҳамтаъсири молекулаҳо ро ёбед.

Маълумот:

$$m=0,1 \text{ кг}$$

$$V_1=10^3 \text{ л}$$

$$V_2=10^4 \text{ л}$$

$$A=?$$

Ҳал:

$$A = \Delta U = \frac{m^2}{M^2} a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = 1,65 \text{ Ҷ.}$$

Ҷавоб: 1,65 Ҷ.

3.36. Дар зарфи ғунҷоишаш  $V_1=1$  л нитрогени массааш  $m=10$  г ҷойгир аст. Тағйироти температураи нитрогенро муайян намоед, агар дар холигӣ то ҳаҷми  $V_2=10$  л васеъ шуда бошад.

Маълумот:

$$m=10 \text{ г}$$

$$V_1=1 \text{ л}$$

$$V_2=10 \text{ л}$$

$$\Delta T = ?$$

Ҳал:

$$\Delta U = C_v \frac{m}{M} \Delta T; \Delta U = \frac{m^2 a (V_2 - V_1)}{M^2 \cdot V_1 \cdot V_2}; C_v \frac{m}{M} \Delta T = \frac{m^2 a (V_2 - V_1)}{M^2 \cdot V_1 \cdot V_2};$$

$$\Delta T = \frac{ma(V_2 - V_1)}{M \cdot C_v \cdot V_1 \cdot V_2}.$$

$$\Delta T = 2,09 \text{ К.}$$

Ҷавоб: 2,09 К.

3.37. Гази хлори массааш  $m=7,1$  г дар зарфи ғунҷоишаш  $V_1=0,1$  л ҷойгир аст. Барои он ки изотермӣ дар холигӣ то ҳаҷми  $V_2=1$  л васеъ шавад, ба хлор чӣ қадар миқдори гармӣ додан лозим меояд?

Маълумот:

$$m=7,1 \text{ г}$$

$$V_1=0,1 \text{ л}$$

$$V_2=1 \text{ л}$$

$$Q=?$$

Ҳал:

$$Q = A; \Delta U = 0;$$

$$Q = \frac{m^2}{M^2} a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = 58,5 \text{ Ҷ.}$$

Ҷавоб: 58,5 Ҷ.

3.38. Ба гази туршии карбон дар температураи  $T=300$  К чӣ қадар фишор диҳем, ки зичиаш  $\rho=500$  г/л шавад? Ҳисобро барои гази идеалӣ ва ҳам барои гази реалӣ иҷро намоед.

Ҳал:  $P = \frac{\rho RT}{M} = 280 \text{ атм.}$

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

$$P = \frac{\nu RT}{V - vb} - \frac{av^2}{V^2} = \frac{mRT/M}{V - \frac{m}{M}b} - \frac{am^2}{V^2 M^2};$$

$$P = \frac{\rho RT}{M - \rho b} - \frac{a\rho^2}{M^2} = 80 \text{ атм.}$$

Ҷавоб: 280 атм, 80 атм.

3.39. Як мол газ дар ҳаҷми  $V=0,25$  л ҷойгир аст. Дар температураи  $T_1=300$  К фишори газ  $P_1=90$  атм, дар  $T_2=350$  К фишор  $P_2=110$  атм мебо-

шанд. Барои ин газ доимиҳои Ван-дер-Ваалсро муайян намоед.

$$\text{Ҳал: } P_1 = \frac{RT_1}{V-b} - \frac{a}{V^2}; P_2 = \frac{RT_2}{V-b} - \frac{a}{V^2}; P_2 - P_1 = \frac{R(T_2-T_1)}{V-b}; V-b = \frac{R(T_2-T_1)}{P_2-P_1};$$

$$b = V - \frac{R(T_2 - T_1)}{P_2 - P_1} = 0,042 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{мол}} = 0,042 \frac{\text{л}}{\text{мол}}.$$

$$\frac{a}{V^2} = \frac{RT_1}{V-b} - P_1 = \frac{T_1(P_2 - P_1)}{T_2 - T_1} - P_1 = \frac{T_1 P_2 - T_2 P_1}{T_2 - T_1};$$

$$a = \frac{(T_1 P_2 - T_2 P_1)}{T_2 - T_1} V^2 = 0,1875 \frac{\text{Па м}^6}{\text{мол}^2}.$$

$$\text{Ҷавоб: } a = 0,1875 \frac{\text{Па м}^6}{\text{мол}^2}; b = 0,042 \frac{\text{л}}{\text{мол}}.$$

**3.40.** Барои гази Ван-дер-ваалсӣ коэффисиенти фишурдашавии изотермӣ  $\chi$ -ро ҳамчун функсияи ҳаҷм  $V$  дар температураи  $T$  муқаррар намоед.

$$\text{Ҳал: } \chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T; P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}; \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3};$$

$$-V \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T = \frac{RTV}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}; \chi_T = \left[ \frac{RTV}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2} \right]^{-1} = \frac{V^2(V-b)^2}{[RTV^3 - 2a(V-b)^2]}.$$

$$\text{Ҷавоб: } \chi_T = \frac{V^2(V-b)^2}{[RTV^3 - 2a(V-b)^2]}.$$

**3.41.** Натиҷаи масъалаи пешинаро истифода бурда муайян намоед, ки дар кадом температура коэффисиенти фишурдашавии изотермии гази ван-дер-ваалсӣ назар ба  $\chi_T$ -и гази идеалӣ зиёд аст. Ҳолатеро мадди назар намоед, ки ҳаҷми молӣ назар ба доимии  $b$  ниҳоят калон аст.

$$\text{Ҳал: Барои гази идеалӣ: } \chi_0 = \frac{V}{RT};$$

$$\chi_T = \frac{(V-b)^2}{RTV} \left\{ 1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^2} \right\}^{-1} = \chi_0 \left( 1 - \frac{b}{V} \right)^2 \left\{ 1 - \frac{2a}{RTV} \left( 1 - \frac{b}{V} \right)^2 \right\}^{-1};$$

$$\chi = \chi_0 \left\{ 1 - \frac{2b}{V} + \frac{2a}{RTV} \right\};$$

$$\chi > \chi_0; \frac{2a}{RTV} > \frac{2b}{V}; \quad T < \frac{a}{bR}.$$

$$\text{Ҷавоб: } T < \frac{a}{bR}.$$

**3.42.** Тағйироти энтропияи як мол гази ван-дер-ваалсиро ҳангоми изотермӣ аз  $V_1$  то  $V_2$  васеъ кардани ҳаҷми он муайян ёбед. Доимиҳои Ван-дер-Ваалсро муайян ҳисобед.

$$\text{Ҳал: } \left( P + \frac{a}{V^2} \right) (V-b) = RT; \quad \Delta S = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T dV;$$

$$\left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{V-b}; \quad \Delta S = R \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}.$$

**3.43.** Як мол гази ван-дер-ваалсӣ дар температураи  $T_1$  ҳаҷми  $V_1$ -ро ишғол мекард, ба ҳолати ҳаҷмаш  $V_2$  ва температурааш  $T_2$  гузарониданд. Тағйироти энтропияи газро муайян намоед. Чунин ҳисобед, ки гар-



миғунҷоиши моли он  $C_V$  маълум аст.

Ҳал:

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_V dT + \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T dV = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V}{T} dT + \int_{V_1}^{V_2} \frac{R}{V-b} dV;$$

$$\Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}.$$

3.44. Дар температураҳои ниҳоят паст гармиғунҷоиши кристалҳо  $C = aT^3$  ( $a$ -доимӣ). Дар ин соҳа энтропияи кристалро ҳамчун функсияи температура муайян намоед.

Ҳал:  $S \rightarrow 0, T \rightarrow 0$ .

$$S = \int_0^T C \frac{dT}{T} = \int_0^T aT^2 dT = \frac{1}{3} aT^3.$$

3.45. Тағйироти энтропияи пораи алюминийи массааш 3 кг-ро ҳангоми аз температураи 300 К то 600 К гарм кардан муайян намоед, агар дар ин интервали температура гармиғунҷоиши алюминий  $C = a + bT$  ( $a=770$  Ҷ/(кг К),  $b=0,46$  Ҷ/(кг К<sup>2</sup>)) бошад.

Ҳал:  $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} C \frac{dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m(a+bT)}{T} dT = mb(T_2 - T_1) + ma \ln \frac{T_2}{T_1} = 2$  кҶ/К.

Ҷавоб:  $\Delta S = 2$  кҶ/К.

3.46. Дар ягон протсес температураи ҷисм ба энтропия чунин вобастагӣ дорад:  $T = aS^n$  ( $a, n$ -доимиҳо). Гармиғунҷоиши мувофиқи ҷисмро ҳамчун функсияи энтропия муайян намоед. Дар кадом шароит  $C < 0$  мешавад?

Ҳал:  $T = aS^n$ ;  $S = \left( \frac{T}{a} \right)^{\frac{1}{n}}$ ;  $C = T \frac{1}{n} \frac{T^{\frac{1}{n}-1}}{a^{\frac{1}{n}}} = \frac{S}{n}$ ;  $C < 0$  агар  $n < 0$  бошад.

3.47. Як мол гази идеалии гармиғунҷоишаш ( $C_V$ ) маълум буда протсесеро иҷро мекунад, ки вобастагии энтропия ба температура  $S = \frac{\alpha}{T}$  ( $\alpha$ -доимӣ) аст. Температураи газ аз  $T_1$  то  $T_2$  тағйир меёбад. Муайян намоед: а) гармиғунҷоиши молиро ҳамчун функсияи температура; б) миқдори гармии қабулкардаи газ ва в) қори иҷрокардаи газро.

Ҳал: а)  $C = T \frac{dS}{dT} = -\frac{\alpha}{T}$ ;

б)  $Q = \int_{T_1}^{T_2} C dT = \alpha \ln \frac{T_2}{T_1}$ ;

в)  $A = Q - \Delta U = \alpha \ln \frac{T_2}{T_1} + C_V(T_2 - T_1)$ ;  $\Delta U = C_V(T_2 - T_1)$ .

3.48. Қоре, ки як мол гази ван-дер-ваалсӣ ҳангоми изотермӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то  $V_2$  васеъшавӣ иҷро мекунад, ёбед.

$$\text{Ҳал: } A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \right) dV = RT \ln \frac{V_2-b}{V_1-b} + a \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right).$$

3.49. Як мол оксигенро дар температураи  $T=280$  К аз ҳаҷми  $V_1=1,0$  л то  $V_2=5,0$  л васеъ карданд. Ҳисоб кунед: а) тағйирёбии энергияи дохилии газ; б) миқдори гармии фурӯбурдашуда. Газро ван-дер-ваалсӣ пиндоред.

$$\text{Ҳал: } \Delta U = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV; \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T - P = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P; P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2};$$

$$T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \frac{RT}{V-b}; \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = \frac{a}{V^2}; \Delta U = a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right).$$

$$\text{б) } Q = A + \Delta U = RT \ln \frac{V_2-b}{V_1-b}.$$

3.50. Барои гази ван-дер-ваалсӣ: а) муодилаи адиабатаро дар параметрҳои  $T$  ва  $V$ ; б) фарқи гармиғунҷоишҳои моӣ  $C_P - C_V$  ҳамчун функсияи  $T$  ва  $V$  муқаррар намоед.

$$\text{Ҳал: а) } \delta Q = dU + P dV = 0; dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV; dU = C_V dT + \frac{a}{V^2} dV$$

$$C_V dT + \frac{RT}{V-b} dV; \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V-b} + \frac{dT}{T} = 0; \ln T + \frac{R}{C_V} \ln(V-b) = \text{const}$$

$$T(V-b)^{\frac{R}{C_V}} = \text{const}.$$

$$\text{б) } dU = C_V dT + \frac{a}{V^2} dV; \delta Q = C_V dT + \frac{RT}{V-b} dV; P = \text{const}, C_P = C_V + \frac{RT}{V-b} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}; 0 = \left( -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^2} \right) \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P + \frac{R}{V-b};$$

$$T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{\frac{RT}{V-b}}{\frac{RT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}} = \frac{V-b}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^3}}$$

$$C_P - C_V = \frac{R}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^3}}.$$

3.51. Дар зарфи ҳаҷмаш 5 л миқдори 10 мол оксиген ҷойгир аст. Муайян кунед: а) фишори дохилии газ ва б) ҳаҷми хусусии молекулаҳоро. Доимии Ван-дер-Ваалс барои оксиген:  $a=0,136$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>; б)  $b=3,17 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/мол.

Маълумот:

$$v=10 \text{ мол}$$

$$V=5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$a=0,136 \text{ Па м}^6/\text{мол}^2$$

$$b=3,17 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{мол}$$

$$P'=? \quad v=?$$

$$\text{Ҳал: } P' = \frac{v^2 a}{V^2}; \quad vb = 4v; \quad v = \frac{vb}{4}.$$

$$\text{Ҷавоб: } P'=544 \text{ кПа}; \quad v=79,3 \text{ см}^3.$$

3.52. Фишори капилариро мавридҳои: а) дар қатраи симоби диаметраш 1,5 мкм, б) дар дохили хубобчаи собунии диаметраш 3 мм будан ҳисоб кунед, агар кашиши сатҳии оби собундор 45 мН/м бошад.

Ҳал: а)  $\Delta P = \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = 2\alpha \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{d} \right) = \frac{4\alpha}{d} = 1,307 \cdot 10^6 \text{ Па} = 13 \text{ атм.}$

б)  $\Delta P = 2\alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = 4\alpha \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{d} \right) = \frac{8\alpha}{d} = 120 \text{ Па.}$

3.53. Фишори дохили хубобчаи ҳавои диаметраш 4 мкм-ро, ки дар об дар чуқурии 5 м ҷойгир аст, муайян намоед. Фишори атмосферӣ  $P_0$  нормалӣ мебошад.

Ҳал:  $P = P_0 + \rho gh + \frac{4\alpha}{d} = 2,22 \text{ атм.}$

Ҷавоб:  $P = 2,22 \text{ атм.}$

3.54. Фарқи баландии симобро дар ду капилари вертикалӣ пайваста муайян намоед, диаметри капиларҳо  $d_1 = 0,5 \text{ мм}$  ва  $d_2 = 1 \text{ мм}$ , агар кунҷи канорӣ  $\theta = 138^\circ$  бошад.

Ҳал:  $\rho g \Delta h = 4\alpha (\cos\theta) \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right); \Delta h = \frac{4\alpha (\cos\theta)(d_2 - d_1)}{\rho g d_1 d_2} = 11 \text{ мм.}$

Ҷавоб:  $\Delta h = 11 \text{ мм.}$

3.55. Қувваи ҷазбшавии ду лавҳаи шишагини паралелиро, ки дар масофаи 0,1 мм аз ҳамдигар ҷойгиранд, баъди он ки ба байни онҳо қатраи оби массааш 70 мг-ро дохил карданд, муайян намоед. Таршавиро пурра ҳисобед.

Маълумот:

$m = 70 \text{ мг}$

$l = 0,1 \text{ мм}$

$f = ?$

Ҳал: Барои таршавии пурра  $\theta = 0$ .

$$\Delta P = \alpha \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right); l = 2r_1 \cos\theta = 2r_1$$

$$f = \frac{2\alpha \cos\theta}{l}; s = \frac{m}{\rho l}; F = \frac{2m\alpha}{\rho l^2} = 1 \text{ Н}$$

Ҷавоб:  $f = 1 \text{ Н.}$

3.56. Энергияи озоди қабатҳои сатҳии зеринро муайян намоед: а) қатраи симоби диаметраш 1,4 мм; б) хубобчаи собунии диаметраш 6 мм-ро, агар кашиши сатҳии оби собундор 45 мН/м бошад.

Ҳал: а)  $F = \pi \alpha d^2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ.}$

б)  $F = 2\pi \alpha d^2 = 10 \text{ мкҶ.}$

Ҷавоб: а) 3 мкҶ; б) 10 мкҶ.

3.57. Тағйироти энергияи озоди қабати сатҳиро, ҳангоми якҷояшавии ду қатраи якхелаи симобии диаметри ҳар кадомаш 1,5 мм, ҳисоб кунед.

Ҳал:  $\frac{\pi}{6} d_1^3 = 2 \frac{\pi}{6} d^3; d_1 = 2^{\frac{1}{3}} d. \Delta F = \pi \alpha 2^{\frac{2}{3}} d^2 - 2\pi \alpha d^2 = 2\pi \alpha d^2 \left( 2^{-\frac{1}{3}} - 1 \right)$

$\Delta F = -1,43 \text{ мкҶ.}$

Ҷавоб:  $\Delta F = -1,43 \text{ мкҶ.}$

3.58. Кореро, ки барои изотермӣ пуф кардани хубоби собунии радиусаш  $r$  иҷро намудан лозим аст, ёбед. Фишори ҳавои атроф  $P_0$  ва кашиши сатҳии оби собундор  $\alpha$ .

Ҳал:  $2\alpha 4\pi r^2 = 8\alpha\pi r^2$ ;  $A = \int_{V_0}^V P dV$ ;  $P_0 V_0 = \left(P_0 + \frac{4\alpha}{r}\right) V$ ;  $V = \frac{4\pi}{3} r^3$ ;  
 $V_0 = \frac{PV}{P_0}$ ;  $P = P_0 + \frac{4\alpha}{r}$ ;  $PV \ln \frac{V_0}{V} = PV \ln \frac{P}{P_0}$ .  
 $A = 8\alpha\pi r^2 + PV \ln \frac{P}{P_0}$ .

3.59. Сатҳи лавҳаи собуниро дар температураи  $T$  ба кадри  $\Delta\sigma$  зиёд карданд. Кашиши сатҳии оби собундор  $\alpha$  ва коэффисиенти температуравии он  $\frac{d\alpha}{dT}$ -ро ба ҳисоб гирифта тағйироти а) энтропияи қабати сатҳии лавҳа ва б) энергияи дохилии қабати сатҳиро муайян намоед.

Ҳал:  $\delta q = -T \frac{d\alpha}{dT} \delta\sigma$ .

а)  $\Delta S = \frac{\delta q}{T} = -2 \frac{d\alpha}{dT} \delta\sigma$ .

б)  $\Delta F = 2\alpha\delta\sigma$ ;  $\Delta U = \Delta F + T\Delta S = 2\left(\alpha - T \frac{d\alpha}{dT}\right) \delta\sigma$ .

3.60. Об бо буғи сераш дар зарфи ҳаҷмаш  $V=6$  л дар температураи  $250^\circ\text{C}$  ва фишори  $40$  атм ҷойгир аст. Ҳаҷми хоси буғ дар ин шароит  $\vartheta=50$  л/кг. Массайи об бо буғаш  $m=5$  кг. Масса ва ҳаҷми буғро ёбед.

Ҳал:  $V_6 \gg V_{06}$ ;  $m = m_6 + m_{06}$ ;  $V = m_6\vartheta + m_{06}\vartheta_{06}$ ;  $V - m\vartheta_{06} = m_6(\vartheta - \vartheta_{06})$ .  
 $m_6 = \frac{V - m\vartheta_{06}}{\vartheta - \vartheta_{06}} = 20$  г.  $V_6 = 1,0$  л.

3.61. Ба оби дар фишори атмосферӣ ҷӯшидаи стода чӣ қадар миқдори гармӣ диҳем, ки  $1$  кг об ба буғ мубаддал шавад?

Ҳал:

$$\Delta U + A = Q = mq; \quad A = P(\vartheta_6 - \vartheta_{06})m = m \frac{RT}{M}$$

$$\Delta U = m \left( q - \frac{RT}{M} \right); \quad Q = m \left( q + \frac{RT}{M} \right);$$

$$q=2,25 \text{ МҶ/кг}; \quad Q=2,4 \text{ МҶ}. \quad \text{Ҷавоб: } Q=2,4 \text{ МҶ}.$$

3.62. Массайи ҳамаи молекулаҳоеро, ки дар як сония аз  $1 \text{ см}^3$ -и сатҳи об ба буғи сери болои он дар температураи  $100^\circ\text{C}$  парида мегузаранд, муайян намоед. Ба ҳисоб гиред, ки  $\psi=3,6\%$  молекулаҳои буғи об, ки ба сатҳи об меафтанд, барнамегарданд.

Ҳал:  $\psi \frac{1}{4} n < \vartheta > = \psi \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ ;  $\mu = m\psi n \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} = kT\psi n \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} = \psi P_0 \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}}$ ;

$$\mu = 0,35 \frac{\text{г}}{\text{см}^2 \text{с}}. \quad P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

3.63. Массайи  $100$  қатра спирти аз капилляр рехта  $0,71$  г аст. Коэффисиенти кашиши сатҳии спиртро муайян кунед, агар диаметри қатра ҳангоми кандашави ба  $1$  мм баробар бошад.

Маълумот:           Ҳал:

$$m=0,71 \text{ г}$$

$$d=1 \text{ мм}$$

$$\sigma = ?$$

$$\sigma = \frac{F}{l}; F = \frac{mg}{N}; \quad l = 2\pi R = \pi d;$$

$$\sigma = \frac{mg}{\pi \cdot d \cdot N} = 22,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м. } \text{ Ҷавоб: } 22,2 \text{ мН/м.}$$

**3.64.** Диаметри найча  $d_1=0,2$  см аст. Дар канори поёнии найча қатраи об овезон аст, ки дар лазҳаи кандашавӣ шакли кураро дорад. Диаметри  $d_2$  ин қатраро муайян кунед.

Маълумот: Ҳал:  $F=mg$ ,  $F=\sigma \cdot l$ ,  $\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$

$$d_1=0,2 \text{ см}$$

$$d_2=?$$

$$mg = \sigma \cdot l, \quad \rho = 1000 \text{ кг/м}^3, \quad m = \frac{\sigma \cdot l}{g}, \quad m = \rho V = \frac{4}{3} \pi \cdot r_2^3 \rho,$$

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r_2^3 \rho = \frac{\sigma \cdot l}{g}, \quad r_2 = \sqrt[3]{\frac{3\sigma l}{4\pi g \rho}}, \quad d_2 = 2\sqrt[3]{\frac{3\sigma d}{4g\rho}} \quad l = \pi \cdot d_1,$$

$$r_2 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3\sigma \pi d}{4g\rho}} = 2\sqrt[3]{\frac{3\sigma \pi d}{4g\rho}} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м. } \text{ Ҷавоб: } d_2 = 8,8 \text{ мм.}$$

**3.65.** Барои он ки ҳубобчаи кафки собунро пуф карда диаметрашро аз  $d_1=1$  см то  $d_2=11$  см афзоиш додан, чӣ қадар кор иҷро бояд намуд?

Протсессро изотремӣ ҳисобед.

Маълумот: Ҳал:  $A = 2\sigma(S_2 - S_1)$ ;  $\sigma = 40 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ;

$$d_1=1 \text{ см}$$

$$d_2=11 \text{ см}$$

$$A=?$$

$$S = 4\pi \cdot r^2 = \pi \cdot d^2; \quad A = 2\sigma(\pi \cdot d_2^2 - \pi \cdot d_1^2) = 2\sigma\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Ҷ.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 3 \text{ мҶ.}$$

**3.66.** Ду қатраи симоби радиусашон  $r=1$  мм якҷоя шуда қатраи калон ҳосил карданд. Ҳангоми ин протсес чӣ қадар энергия хориҷ мешавад?

Протсессро изотермӣ ҳисобед.

Маълумот: Ҳал:  $E = \sigma(S_2 - S_1)$ ,  $S_1 = 4\pi R^2$ ,  $S_2 = 4\pi \cdot r^2 N$ ,

$$\left. \begin{array}{l} r = 0,001 \text{ м} \\ E = ? \end{array} \right\}$$

$$N = 2, m = \rho V, m_1 = m_2, V_1 = V_2, \quad \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 N = \frac{4}{3} \pi R^3, \quad R = r^3 \sqrt{N}$$

$$E = \sigma(4\pi \cdot r^2 N - 4\pi \cdot r^2 N^{2/3}), \quad E = 4\pi \cdot r^2 \sigma(N - N^{2/3}) = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ}$$

$$\text{Ҷавоб; } 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ҷ.}$$

**3.67.** Ҳубобчаи ҳаво диаметраш  $d=2$  мкм дар сатҳи болои об ҷойгир аст. Зичии ҳаворо дар ҳубобча ёбед, агар ҳавои болои сатҳи об дар шароити нормалӣ бошад.

Маълумот:

$$d=2 \text{ мкм}$$

$$\rho = ?$$

$$\text{Ҳал: } \rho V = \frac{m}{M} RT, \quad \rho = \frac{PM}{RT}, \quad \frac{M}{RT} = \frac{\rho}{P}, \quad \frac{\rho}{P_{\text{атм}} + P} = \frac{\rho_0}{P_{\text{атм}}},$$

ин ҷо  $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$  зичии ҳавои болои сатҳи об Р-фишори иловаги дар доҳили ҳубобча.

$$P = \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{d}; \quad \rho = \frac{\rho_0(P_{\text{атм}} + P)}{P_{\text{атм}}}$$

$$\rho = 3,2 \text{ кг/м}^3.$$

$$\text{Ҷавоб: } 3,2 \text{ кг/м}^3.$$

3.68. Фишори ҳавои дохили ҳубобчаи собун  $P$  назар ба фишори атмосферии нормалӣ чӣ қадар зиёд аст, агар диаметри ҳубобча  $d=5$  мм бошад?

Маълумот:  
 $d=5$  мм  
 $\sigma = 0,04$  Н/м  
 $\Delta P = ?$

Ҳал: Фишори иловагӣ фишори лапласӣ аст. Фишори лапласӣ барои сатҳи радиуси қачиаш  $R$ :  $P = \frac{2 \cdot \sigma}{R}$   
 Барои ҳубобчаи тунук фишор 2 маротиба зиёд аст, чунки сатҳ ду рӯя дорад.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \sigma}{d} = 64 \text{ Па} \quad \text{Ҷавоб: } \Delta P = 64 \text{ Па.}$$

3.69. Глитсерин дар найчаи капиларӣ ба баландии  $h=20$  мм баромад. Агар диаметри найча  $d=1$  мм бошад, коэффисиенти кашиши сатҳии глитсеринро муайян намоед.

Маълумот:  
 $h=20$  мм  
 $d=1$  мм  
 $\sigma = ?$

Ҳал:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho \cdot gR} = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho \cdot gd}; R = \frac{d}{2};$$

$$\sigma = \frac{h \cdot \rho \cdot g \cdot d}{4 \cos\theta}; \cos\theta \approx 1.$$

$$\rho = 1260 \text{ кг/м}^3.$$

$$\sigma = 62 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

$$\text{Ҷавоб: } \sigma = 62 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

3.70. Диаметри канали найчаи шишагини барометри симобии кафдор 5 мм аст. Ба нишондоди ин барометр чӣ қадар ислоҳ даровардан лозим аст, ки бузургии фишори атмосферӣ аниқ муайян шавад?

Маълумот:  
 $d = 0,005 \text{ м}$   
 $\Delta p = ?$

Ҳал:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{d} = 400 \text{ Па}, \sigma = 0,5 \text{ Н/м}$$

$$\text{Ҷавоб: } \Delta P = 400 \text{ Па.}$$

3.71. Фарқи сатҳҳои моеъ дар найчаи U-шакл 23 мм аст. Диаметри каналҳо дар зонаҳои найча мувофиқан ба 2 мм ва 0,4 мм баробаранд. Зичии моеъ  $0,8$  г/см<sup>3</sup> аст. Коэффисиенти кашиши сатҳии моеъ муайян карда шавад.

Маълумот:  
 $\Delta h = 23$  мм  
 $d_1 = 2$  мм  
 $d_2 = 0,4$  мм  
 $\rho = 0,8$  г/см<sup>3</sup>  
 $\sigma = ?$

Ҳал:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right), \quad \sigma = \frac{\Delta h \cdot \rho \cdot g}{4 \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)} = 22,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$\Delta h = \frac{4\sigma}{\rho \cdot g} \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

$$\text{Ҷавоб: } \sigma = 22,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

3.72. Ба моеъ ду найчаи капиларии вертикалӣ, ки диаметри даруниашон  $d=0,05$  см ва 0,1 см аст, фуруварда шудаанд. Фарқи баландии сатҳи моеъ дар найчаҳо 11,6 мм мешавад. Зичии моеъ  $\rho = 0,8$  г/см<sup>3</sup>. Коэффи-

сиенти кашиши сатҳии моеъро муайян кунед.

Маълумот:

$$\begin{aligned} \Delta h &= 11,6 \text{ мм} \\ d_1 &= 0,05 \text{ см} \\ d_2 &= 0,1 \text{ см} \\ \rho &= 0,8 \text{ г/см}^3 \\ \sigma &=? \end{aligned}$$

Ҳал:

$$\sigma = \frac{\Delta h \cdot \rho \cdot g}{4 \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)} = 22,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Ҷавоб:  $22,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

3.73. Ба об найчаи шишагини диаметри сӯрохиаш 1 мм-ро дар чуқурии на он қадар зиёд фуруварданд. Массайи оби ба найча дохилшударо муайян кунед.

Маълумот:

$$\left. \begin{aligned} d &= 0,001 \text{ м} \\ m &=? \end{aligned} \right|$$

Ҳал:

$$m = \rho \cdot V, V = S \cdot h, h = \frac{4\sigma}{\rho \cdot g \cdot d}, S = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

$$m = \frac{4\sigma}{\rho \cdot g \cdot d} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot d}{g} = 23,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

Ҷавоб:  $m = 23,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ .

3.74. Найчаи капиларии диаметраш  $d = 0,5 \text{ мм}$  -ро бо об пур карданд. Дар тарафи поёнаш қатраи об овезон шуд. Ин қатраро ҳамчун қисми кураи радиусаш  $r = 3 \text{ мм}$  қабул карда, баландии сутуни обиро дар найча ёбед.

Маълумот:

$$\left. \begin{aligned} d &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ м} \\ r &= 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ h &=? \end{aligned} \right|$$

Ҳал:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho \cdot g \cdot R}; \cos\theta = \frac{R}{r}; h = \frac{2\sigma \cdot R}{r \cdot \rho \cdot g \cdot R} = \frac{2\sigma}{r \cdot \rho \cdot g} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Ҷавоб:  $h = 5 \text{ мм}$ .

3.75. Диаметри зонуи васеи манометри U-шакли симобӣ  $d_1 = 4 \text{ см}$  ва бо-риқаш  $d_2 = 0,25 \text{ см}$  аст. Фарқи сатҳи симоб дар ҳар ду зону:  $\Delta h = 200 \text{ мм}$  мебошад. Ислоҳ ба капиларнокиро ба назар гирифта фишореро, ки манометр нишон медиҳад, муайян кунед.

Маълумот:

$$\begin{aligned} d_1 &= 4 \text{ см} \\ d_2 &= 0,25 \text{ см} \\ \Delta h &= 200 \text{ мм} \\ P &=? \end{aligned}$$

Ҳал:

$$P = \rho \cdot g \cdot \Delta h - \left( \frac{4\sigma}{d_1} + \frac{4\sigma}{d_2} \right)$$

$$\rho = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \sigma = 0,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; P = 26 \text{ кПа}$$

Ҷавоб:  $P = 26 \text{ кПа}$ .

3.76. Дар температураи  $16^\circ \text{C}$  зичии буғи сери об назар ба зичии об чанд маротиба кам аст?

Маълумот:

$$\begin{aligned} T &= 289 \text{ К} \\ P_{\text{буғи сер}} &= 1,809 \text{ кПа} \\ \rho_{\text{об}} &= 1000 \text{ кг/м}^3 \\ \rho_{\text{об}}/\rho_{\text{буғ}} &=? \end{aligned}$$

$$\text{Ҳал: } \rho_{\text{б.с.}} = \frac{P_{\text{б.с.}} \cdot M}{RT} = 0,014 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{об}}/\rho_{\text{буғ}} = 71428,6$$

Ҷавоб: 71428,6 маротиба кам аст.

## БОБИ IV. ЧИСМҲОИ САХТ

### 4.1 Ҳолатҳои аморфӣ ва кристалии ҷисмҳои сахт

Физикаи ҷисмҳои сахт ҳамчун илм дар аввалҳои садаи XX дар натиҷаи кашфи сохти атом ва инкишофи физикаи атом ба амал омад. То кашфи сохти атом ҷисмҳои сахт асосан аз нуқтаи назари шакли беруна, истифодабарӣ ва робитаи байни хосиятҳои физикавии онҳо омӯхта мешуданд. Омӯзиши сохти атомӣ ва структураи ҷисмҳои сахт аз кашфи дифраксияи афканишоти рентгенӣ ибтидо мегирад. Гуногунии хосиятҳои физикавии ҷисмҳои сахтро дар асоси сохти атомии модда бо гуногунии тавсифи тақсимои электронҳои савияҳои энергетикӣ берунаи атом алоқаманд намудан мумкин аст. Масъалаи асосии физикаи ҷисмҳои сахт-ин муайян намудани табиати қуввахое мебошад, ки зарраҳои (атом, ион ва молекула) таркибии онро яқоя нигоҳ медоранд.

Ҷисмҳои сахт ҳаҷм ва шакли муайян доранд. Дар физика ҷисмҳои сахти аморфӣ ва кристалиро фарқ мекунанд. Ҷисмҳои сахте, ки хосиятҳои физикавиашон дар ҳама самтҳо яқхеланд, ҷисмҳои изотропӣ номида мешаванд. Ҷисмҳои сахти дорои чунин хосиятҳои аморфӣ дошта: қаҳрабо, мум, сурғуч, аксари пластмасса ва ғайра мебошанд. Аз рӯи нишонаи ҳифзи шакл, ҷисмҳои аморфӣ ба ҷисмҳои сахт тааллуқ доранд, вале бо дигар хосиятҳоиашон аз моеъҳо фарқ надоранд. Ҷисмҳои аморфиро ҳамчун моеъҳои аз ҳад хунуқшуда (коэффисиенти часпакиашон калон) тасаввур намудан мумкин аст. Аз ин сабаб дар температураҳои муътадил онҳо қорӣ намешаванд, аммо ҳангоми гармкунӣ то ба температураҳои баландтар чун моеъҳо қорӣ мешаванд.

Кристалҳо (юн. *krystallos*- яқ, минбаъд ба маънои санги булӯр) ҷисмҳои сахтеанд, ки шаклашон табиатан бисёррӯяи мунтазам аст ва зарраҳоиашон дар панҷараи фазоӣ қатъиян ботартиб қойгир шудаанд. Яъне, ҷисми сахтеро, ки структураи атомии фазогии даврии сеченакаи ботартиб дорад, кристал меноманд. Структураи ботартиби кристалҳо ба пайдоиши хосиятҳои махсуси онҳо: аз қабилӣ яқчинсагӣ, қобилияти худ аз худ рӯяву теға пайдо кардан, устуворӣ, энергияи потенциалии минималӣ ва температураи гудозиши дақиқ сабаб мешавад. Ҷисмҳои сахти кристалӣ хосияти анизотропӣ доранд, яъне дар самтҳои гуногуни фазоӣ хосиятҳои физикавиашон (механикӣ, гармӣ, электрӣ, оптикӣ) яқхела нестанд. Сабаби анизотропияи кристалҳо қойгиршавии қатъиян ботартиби атомҳо ё молекулахое мебошад, ки аз онҳо кристал таркиб ёфтааст. Анизотропия, яқчинсагӣ ва симметрия тавсифи асосии кристалҳо ба ҳисоб меравад. Қариб ҳамаи минералҳо ва металҳо дар ҳолати сахтӣ кристалӣ қарор мегиранд.

Кристалҳо худ аз худ ё дар асоси «ҷанин» дар сурати мавҷудияти температура, фишор ва таркиби химиявии муайян аз моддаҳои моеъ (маҳлулҳо ва гудохтаҳо), газмонанд (бо усули сублиматсия) ва сахт (ҳангоми аз нав кристалшавӣ) ташкил меёбанд. Агар дар протсеси сабзиши кристалҳо таъсири беруна набошад, онҳо аз бисёррӯяҳои мунтазам иборат мешаванд.

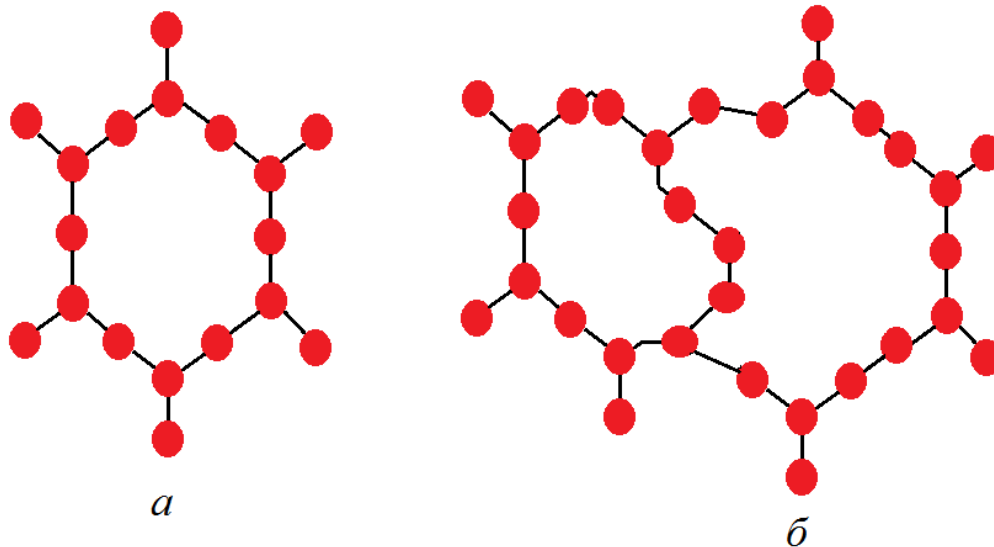


Рӯяҳои кристалҳо бо тӯрҳои ҳамвор ва тегаҳояшон бо қаторҳои фазой, ки қад-қади онҳо гиреҳҳои панчара зичтар ҷойгир шудаанд, мувофиқ меоянд. Кристалҳои ҳамон як модда ва ҳамон як таркиб бузургӣ ва шакли гуногун гирифта метавонанд, аммо кунҷҳои байни рӯяву тегаҳои мувофиқи онҳо якхела мемонанд (қонуни доимияти кунҷҳо, ки олими даниягӣ Н. Стенон мухтасар ифода намудааст). Ҳангоми дар муҳити концентратсияш баланд босуръат афзудани кристалҳо шаклҳои нопурра инкишофёфта (дендритҳо, сферолитҳо ва ғ.) ба вуҷуд меоянд, ки аксари ҷисмҳои саҳт аз онҳо иборатанд.

Аз ғудохтаҳо ё маҳлулҳо барои сабзонидани кристалҳо шароити махсус муҳайё намуда, кристалҳои алоҳидаи калон-монокристалҳои моддаҳои дилхоҳро ҳосил намудан мумкин аст.

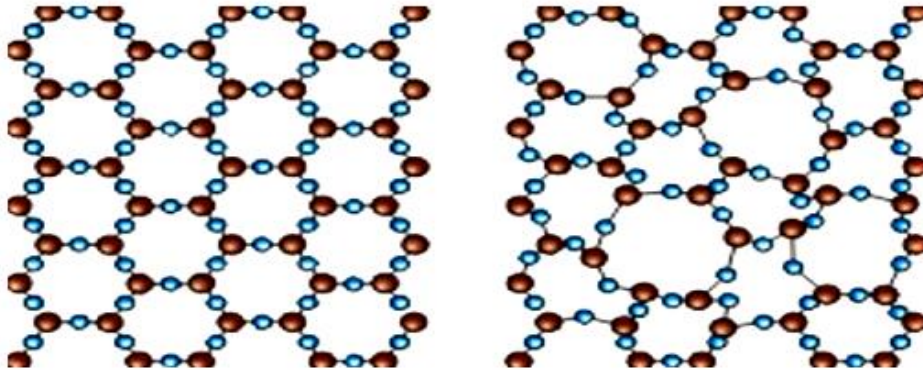
Дурустии шакли геометрӣ ва анизотропияи кристалҳо одатан аз он сабаб зоҳир мешавад, ки ҷисмҳои кристалӣ, чун қоида, ба шакли поликристалҳо, яъне маҷмӯи кристалчаҳои майда-майдаи байни ҳам алоқаманд ва бетартибона ҷойгирбуда, дучор мешаванд.

Бисёре аз ҷисмҳо, масалан, кварс, сулфур, қанд, глицерин ва ғ. ҳам ба намуди кристалӣ ва ҳам ба намуди аморфӣ (шишагун) вуҷуд дошта метавонанд (расми 4.1).



Расми 4.1 Структураи кристалӣ(а) ва аморфии(б) кварс

Дар моддаи кристалӣ атомҳо (ё молекулаҳо) дар гиреҳҳои панчараи фазой ҷойгир шудаанд. Ҷисмҳои аморфӣ-ҷисмҳои саҳте, ки панчараи атомашон структураи кристалӣ надоранд. Дар ҷисмҳои аморфӣ дар ҷойгиршавии атомҳо ва молекулаҳо тартиби дур ҷой надорад (расми 4.2).



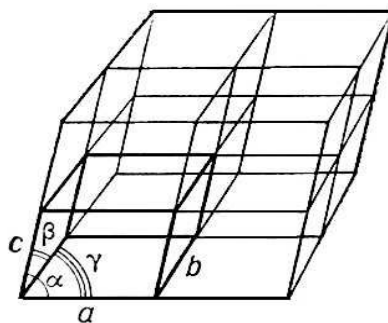
Расми 4.2 Муқоисаи панҷараҳои атомии ҷисмҳои кристалӣ ва аморфӣ

Зарраҳо дар кристал зич ҷойгир шудаанд, масофаи байни марказҳои он ба андозаашон ҳамқиёс аст. Аз ин сабаб, дар панҷараҳои кристалӣ танҳо мавқеи маркази зарра нишон дода мешавад.

#### § 4.2 Мафҳумҳои асосии геометрияи панҷараи кристалӣ

Шакли дурусти геометрии сохти берунаи ҷисмҳои саҳти кристалӣ ба ҳулосае меорад, ки онро бо усули такрори бефосилаи ҷузъи сохторӣ (яъне «хишти» хурдтарини кристал) ба амал овардан мумкин аст. Ин қисми элементии структураи кристал, ки бо такрори даврии он панҷараи фазогии кристал ба амал оварда мешавад, ячейка (ташкила) -и ҷузъӣ (элементӣ) ном гирифтааст.

Панҷараи кристалӣ - шакли фазоист, ки дар кристалҳо ва ҷисмҳои кристалӣ ботартиб ҷойгир шудани атомҳо, ионҳо ва молекулаҳо нишон медиҳад. Панҷараи кристалӣ аз ҷашмакҳои элементие иборат аст, ки дар се самт даврӣ такрор мешаванд ва сохти томи кристалро ба вуҷуд меоранд. Ячейкаи ҷузъӣ вобаста ба симметрияи кристал шакли параллелепеди тезкунча ё росткунча, призмаи квадратӣ, шашкунча ё кубро дорад. Андозаҳои теғҳои ячейкаи элементӣ  $a$ ,  $b$ ,  $c$ -ро даврҳои аинӣ меноманд. Дар расми 4.3 панҷараи кристалӣ, ки ячейкаи ҷузъиаш параллелепеди теғҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ва кунҷҳои байни теғҳои  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  мебошанд, тасвир ёфтааст.



Расми 4.3

Дар ячейкаи ҷузъии кристал як ё якчанд атом мавҷуд буда метавонанд. Агар дар ҷашмак фақат як атом мавҷуд бошад, он гоҳ қуллаи ҷаш-

мак, яъне гиреҳи панҷараи кристалиро бо ин атом якҷоя намудан мумкин аст. Дар ин маврид панҷараи фазогии кристал панҷараи содда ё панҷараи Браве номида мешавад. Агар дар ячейка якчанд атом мавҷуд бошанд, он гоҳ панҷараи фазогии кристалро ба намуди якчанд панҷараи соддаи дохили якдигар тасвир намудан мумкин аст.

Панҷараи кристалиро бо якчанд усул болои ҳам ва якҷоя намудан мумкин аст: транслятсия (кӯчиши паралелӣ), инверсия (иваз кардани вектори  $\vec{l}$  ба  $-\vec{l}$ ), ҷарҳзанӣ дар атрофи меҳварҳои муайян ва инъикоси оинавӣ дар баъзе ҳамворихо.

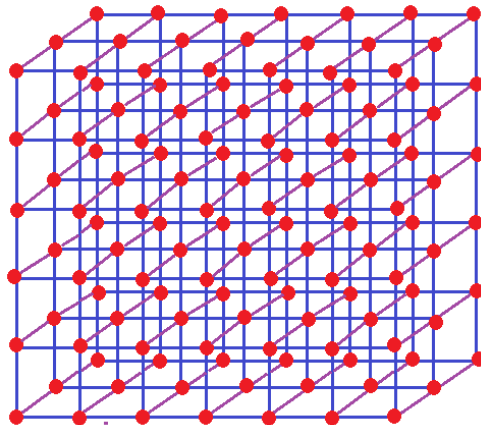
Дар панҷараи кристал меҳварҳои симметрӣ мавҷуданд, ки ҳангоми дар атрофи онҳо ба ягон кунҷи муайян ҷарҳ задани ҷисм он бо худаш ҳамҷоя мешавад. Тире ки дар натиҷаи дар атрофи он ба кунҷи  $\varphi = 2\pi/n$  ҷарҳ занондани ҷисм он боз бо худаш якҷоя мешавад, тире симметрияи тартиби  $n$ -ум ном гирифтааст.

Ҳамворие, ки аз меҳвари симметрияи кристал мегузарад, ҳамвории симметрияи кристал мебошад. Вобаста ба симметрияи кристалҳо онҳоро ба ҳафт гурӯҳ ҷудо кардан мумкин аст. Ин гуна гурӯҳҳоро системаҳои кристаллографӣ, ё худ сингонияҳо меноманд.

Яке аз хусусиятҳои муҳими кристал иҷрои амалиёт бо элементҳои симметрияи он, ё соддатар гӯем, худ симметрияи кристал мебошад. Бо элементҳои симметрия амалиёт чунин аст, ки дар натиҷаи иҷрои он кристал ба намуди ибтидоиаш бармегардад. Панҷараи кристалӣ ба ҳар гуна намудҳои симметрия молик шуда метавонад.

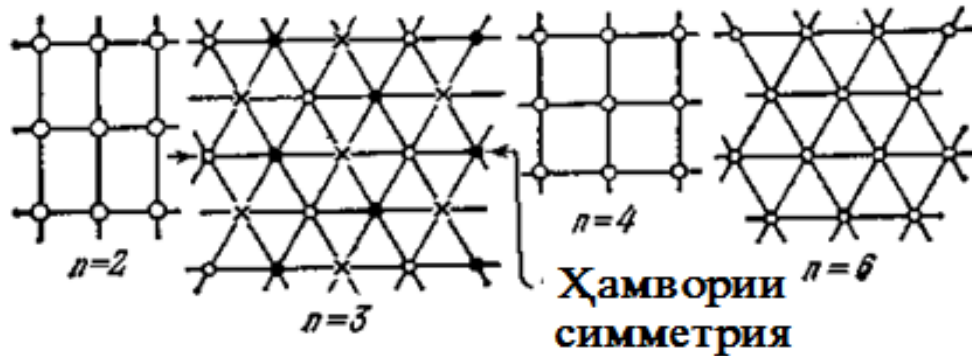
Дар зери мафҳуми симметрияи панҷараи кристалӣ хосияти ба шакли ибтидоии худ баргаштани онро дар натиҷаи ҷойивазкардани фазой доништа мешавад. Ба ҳар як панҷара симметрияи транслясионӣ (таҳвилӣ) хос аст, яъне ҳангоми кӯчиш (транслятсия) ба бузургии як давр панҷара боз шакли аввалаашро мегирад.

**Симметрияи транслясионӣ.** Симметрияи транслясионӣ ҳолати нисбат ба ғеҷишҳо ба ягон масофа дар фазо ба ягон самт симметрӣ будан аст.



Агар панҷара ҳангоми дар атрофи ягон меҳвар ба кунҷи  $2\pi/n$  гардиш намудан шакли аввалаашро гирифта тавонад, онро меҳвари тартиби  $n$ -ум меноманд (бинобар он дар давоми як гардиши пурра дар атрофи меҳвар панҷара худаш бо худаш  $n$ - маротиба мувофиқ меояд). Нишон додан мумкин аст, ки ғайр аз меҳвари тартиби 1-ум боз меҳварҳои симметрияи тар-

тиби 2-юм, 3-юм ва 6-ум имконпазиранд. Дар расми 4.4, ки чунин сохторхоро нишон медиҳад, атомҳои навҳои гуногун бо доираҳои сафед, сиёҳ ва салибчаҳо ишора шудаанд.

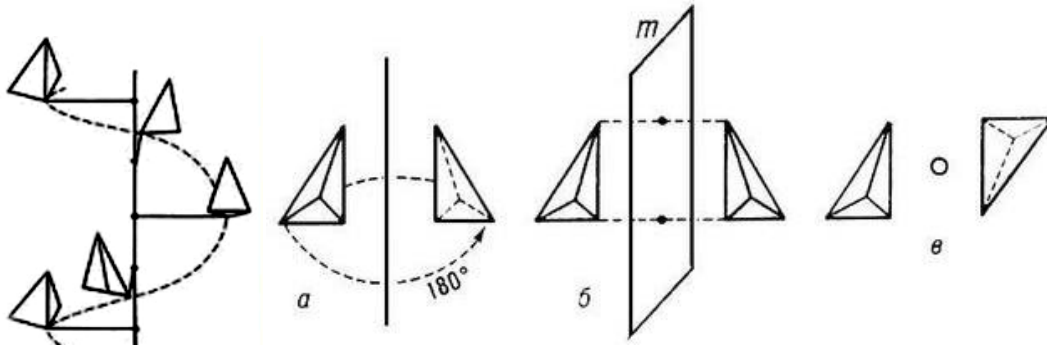


Расми 4.4

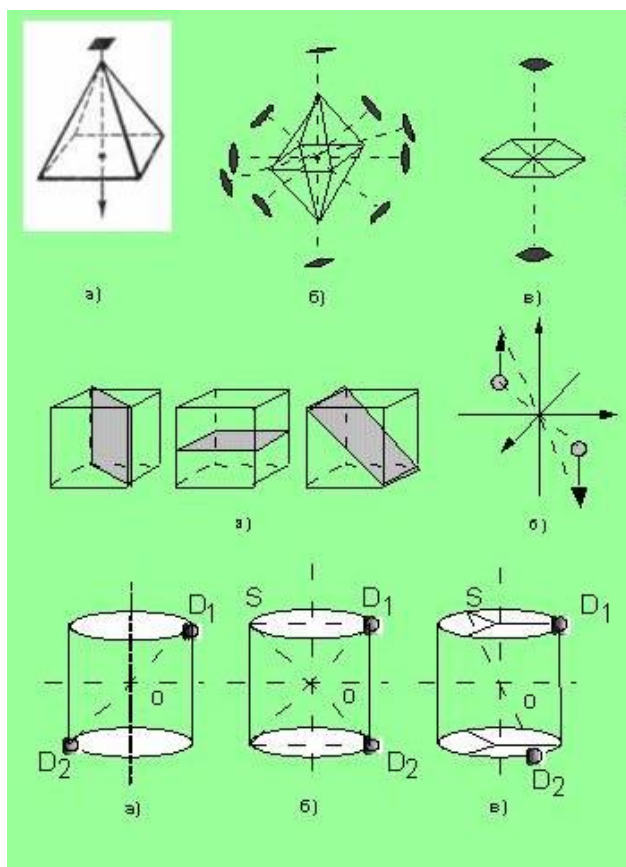
Қайд кардан бамаврид аст, ки меҳвари тартиби 5-ум вучуд надорад, чунки дар ҳамворӣ 5 кунҷи мунтазамро зич ҷойгир кардан мумкин нест. Ҳамин тавр, мавриди як даврзании пурра якҷанд маротиба ( $n$ ) шакли ибтидоашро гирифтани панҷараи кристалӣ тартиби меҳвари симметрияро муайян мекунад (расмҳои 4.5; 4.6).

Агар шакле ҳангоми дар атрофи ягон хатти рости  $AB$  пай дар пай ба кунҷи  $360^\circ/2n$  давр задан ба худаш инъикос шуда, дар ҳамвории ба он перпендикуляр инъикос ёбад, он гоҳ шакли мазкур симметрияи оинавию меҳварӣ дорад.

Ҳамворие, ки ҳангоми инъикосёбӣ аз он панҷараи кристалӣ худ ба худаш мувофиқ меояд, ҳамвории симметрия номида мешавад.



Расми 4.5. Амалӣёти содаи симметрия:  $a$  - гардиш;  $b$  — инъикос;  $v$  - инверсия;  $z$  - гардиши винтии тартиби 4-ум.



Мисолҳои амалиёт бо меҳварҳои симметрияи тартибҳои гуногун:  
*a*- меҳвари тартиби 4-ум, *б*- меҳварҳои тартибҳои 2-юм ва 4-ум, *в*- меҳвари тартиби 6-ум.

Мисолҳои амалиёт бо ҳамвориҳои симметрия (*a*) ва маркази инверсия (*б*).

Мисолҳои амалҳо бо меҳварҳои инверсионии симметрияи тартиби якум (*a*), дуум (*б*) ва сеюм (*в*).

Расми 4.6. Элементҳои симметрия

**Симметрияи винтӣ.** Симметрияи винтӣ гуфта композитсияи гардиш ва кӯчиш дар вектори ба тири гардиш паралелро мефаҳманд.

Ҳар гуна намудҳои симметрия элементҳои симметрияи панҷара номида мешаванд.

Анизотропияи хосияти кристалҳо, шакли ҳамвори теғаҳои онҳо, доимияти кунҷҳо ва дигар қонунҳои кристаллографияи геометрӣ бо мавҷудияти панҷараи кристалӣ шарҳ дода мешаванд. Андозаҳои ячейкаҳо ва ҷойгиршавии атому молекулаҳои ин сохторро таъсисдиҳанда дар ҳар ячейка бо ёрии методҳои рентенография, нейтронография ё электронография муқаррар карда мешавад.

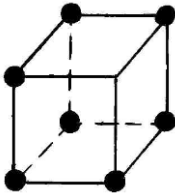
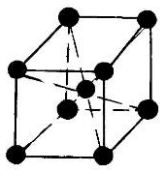
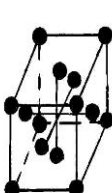
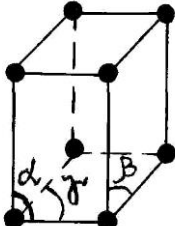
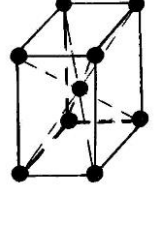
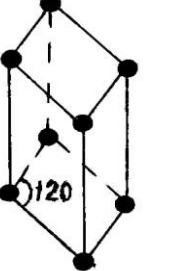
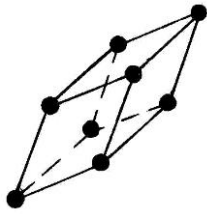
Дар ячейкаи ҷузъии панҷараи кристалӣ аз як (барои элементҳои химиявӣ) то даҳҳо ва садҳо (барои пайвастаҳои химиявӣ) ё ҳазорҳо ва ҳатто миллионҳо (барои сафедаҳо, вирусҳо) атом ҷой гирифта метавонанд. Аз ин рӯ даври айнӣ қиматҳои аз якчанд ангстрем ( $1\text{Å}^0=10^{-10}\text{ м}$ ) сар карда, то садҳо ва ҳазорҳо ангстремро мегирад.

Панҷараи кристалӣ таъсисоти статикӣ (ором) нест. Атомҳо ё молекулаҳо, ки панҷараи кристалиро ташкил медиҳанд, дар назди мавқеи мувозинатӣ лапида меистанд ва табиати ин лапишҳо (динамикаи панҷараи кристалӣ) ба симметрияи ҷойгиршавии атомҳо ё молекулаҳо, энергияи алоқаҳои (бандҳои) байниатомӣ ё байнимолекулӣ вобаста аст. Баробари баландшавии температура интенсивияти лапишҳои зарраҳо меафзояд ва ин ҳол ба вайроншавии панҷараи кристалӣ ва ба моеъ мубаддал шудани мода оварда мерасонад.

Одатан панчараи кристалӣ дар як вақт ба як чанд намудҳои симметрия соҳиб шуда метавонад. Аммо на ҳама гуна комбинатсияи элементҳои симметрия имконпазир мебошанд. Олими рус Е.С. Фёдоров ба таври назариявӣ исбот намудааст, ки танҳо 6 комбинатсияи элементҳои симметрия, ки онҳоро гурӯҳҳои фазогӣ меномем, имконпазир мебошанд. Гурӯҳҳои фазиро аз рӯи аломати симметрии ба 32 синфҳо ҷудо кардаву мувофиқи шакли ячейкашон ба ҳафт системаи кристаллографӣ (ё сингонияҳо) ҷудо менамоянд. Дар ҷадвали 4.1 система ва панчараҳои кристалии Браве оварда шудаанд.

Ҷадвали 4.1

## Система ва панчараҳои кристалии Браве

Системаи кристалӣ (сингония)	Ячейка: тегаҳо ва кунҷҳои он	Панчараҳои Браве			
		Сода (маъмул)	Мураккаб		
			Ҳаҷманмарказонида	рӯямарказонида	асосанмарказонида
Кубӣ	куб $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				—
Тетрагоналӣ	Призмаи квадратӣ $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$			—	—
Гексагоналӣ	Призмаи рост. Асосаш ромби рост. $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$		—	—	—
Тригоналӣ (ромбоэдрҳо)	Ромбоэдр $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$		—	—	—



Ромбҳо	Паралелепипеди росткунча $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
Моноклинҳо	Призмаи рост. Дар асоси призмаи рост $a = b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$			—	—
Триклинҳо	Паралелепипеди қач $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$		—	—	—

Ячейкаи системаи кубӣ шакли кубро дорад. Дар системаи кубӣ ячейкаи ҷузъиро, айнан ба мисли системаи ромбӣ, ба намуди содда, ҳаҷманмарказонида ва панҷара бо базиси марказонида интиҳоб намудан мумкин аст.

Системаи гексагоналӣ симметрияи призмаи шашрӯяи дуруст дорад ва ячейкаи ҷузъии онро ба намуди призмаи шашрӯя (ҷадвали 4.1) тасвир намудан мумкин аст. Ҳангоми ташаккули якҷояи се ячейкаи ҷузъӣ призмаи шашрӯяи рост ҳосил мешавад.

Дар системаи тетрагоналӣ панҷараи кристалӣ ячейкаҳои содда ва ҳаҷман марказонида дорад.

Системаи ромбоэдрӣ (ё тригоналӣ) дорои симметрияи ромбоэдрӣ мебошад.

Ячейкаи системаи ромбӣ паралелопипеди росткунча буда, симметрияи паралелопипеди ростро дорост. Дар системаҳои ромбӣ ғайр аз панҷараи содда боз се намуд панҷараи мураккаб мавҷуд аст, ки панҷараҳои ҳаҷман марказонида, рӯяҳои марказонида ва панҷара бо базиси марказонида номида мешаванд.

Системаи моноклинӣ дорои симметрияи паралелопипеди рост мебошад. Дар панҷараи моноклинии содда гиреҳҳо дар қуллаҳои паралелопипед ҷойгир шудаанд. Дар панҷараи моноклинии мураккаб гиреҳҳои панҷара ғайр аз қуллаҳои паралелопипед боз дар маркази рӯяҳои муқобил ҷойгиранд.

Системаи триклинӣ танҳо нисбат ба дигаргунсозии инверсӣ симметрӣ мебошад.

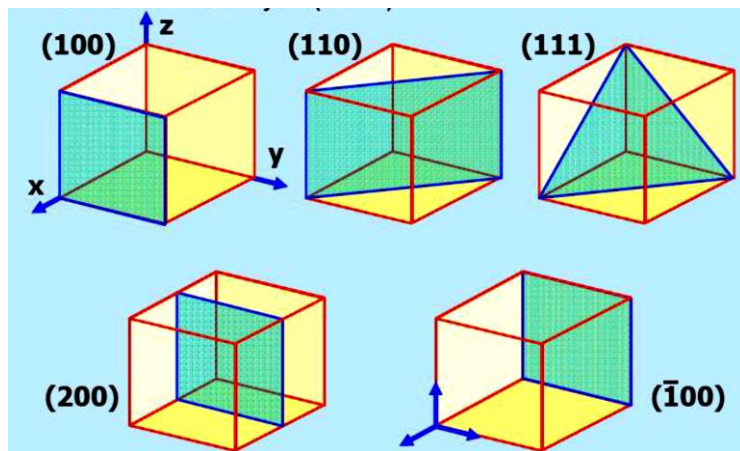
Яке аз мафҳумҳои дигари асосии панҷараи кристалӣ индексҳои кристалӣ мебошанд, ки мавқеи рӯяҳои ячейкаи кристалро дар фазо муайян мекунанд.

Бигузур меҳварҳои  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  бо тегаҳои ячейкаи кристалӣ самтҳои якхела дошта бошанд ва ягон ҳамворие тирҳои координатро дар се нуқта бурида гузаранд. Порчаҳои  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ , ки рӯяҳои ячейкаи кристалро аз тирҳои координатӣ ҷудо мекунанд, параметрҳои хаттии кристал ном доранд. Ин порчаҳоро дар воҳидҳои векторҳои базисӣ  $a_1 = a$ ,  $a_2 = b$ ,  $a_3 = c$  ифода менамоем:  $OA = 2a$ ,  $OB = 3b$ ,  $OC = 6c$ . Коэффисентҳои 2, 3 ва 6 параметрҳои ададии панҷараи кристалӣ номида мешаванд. Бузургии чаппаи ин зарибҳо, яъне  $1/2$ ,  $1/3$  ва  $1/6$ -ро ба адади бутуни хурдтарин меорем:

$$\frac{6}{2} : \frac{6}{3} : \frac{6}{6} = 3 : 2 : 1.$$

Ададҳои 3, 2 ва 1-ро, ки дар намуди  $(hkl)$  пешниҳод мекунанд, индексҳои кристалографӣ, ё ки индексҳои Миллер меноманд. Индексҳои Миллер: барои кристалҳои кубӣ-  $(hkl)$ , барои кристалҳои ромбоэдрӣ ва гексагоналӣ-  $(hkil)$ , барои ҳамворӣ-  $i = -(h+k)$  ( $abc$ ) ва самти ба ҳамвории  $(abc)$  перпендикуляр- $[abc]$ .

Агар ҳамворӣ бо яке аз тирҳо паралел бошад, он гоҳ индекси мувофиқ ба сифр баробар мешавад. Агар ҳамворӣ тирро дар қиматҳои манфии координата бурад, он гоҳ дар болои индекси мувофиқ аломати минус (-) гузошта мешавад. Мувофиқи ин ишораҳо рӯяҳои панҷараи кубӣ намудҳои  $(100)$ ,  $(010)$ ,  $(001)$  ва ё  $(\bar{1}00)$ ,  $(0\bar{1}0)$ ,  $(00\bar{1})$  доранд (расми 4.7).



Расми 4. 7. Ҳамвориҳо ва самтҳо дар кристали кубӣ

### §4.3 Навъҳои физикавии панҷараи кристалӣ

Модда дар намуди ҷисми саҳт дар шакли кристалӣ ва аморфӣ мавҷуд буда метавонад. Ҷисмҳои саҳти кристалӣ бо ҷойгиршавии ботартиби фазогии ионҳо, атомҳо ё молекулаҳои худ тавсиф меёбанд. Дар ҷисмҳои саҳти аморфӣ ҷойгиршавии ботартиби зарраҳоро танҳо дар байни ҳамсоҷҳои наздиктарин мушоҳида мешавад. Ҷойгиршавии мурағтаби зарраҳо дар ҷисмҳои саҳт бо табиати худ зарраҳо ва таъсири мутақобилаи онҳо алоқаманд мешавад. Вобаста ба хусусияти қувваҳои таъсири мутақобилаи зарраҳо панҷараҳои кристалӣ (мутобиқ ба алоқамандии химиявӣ-

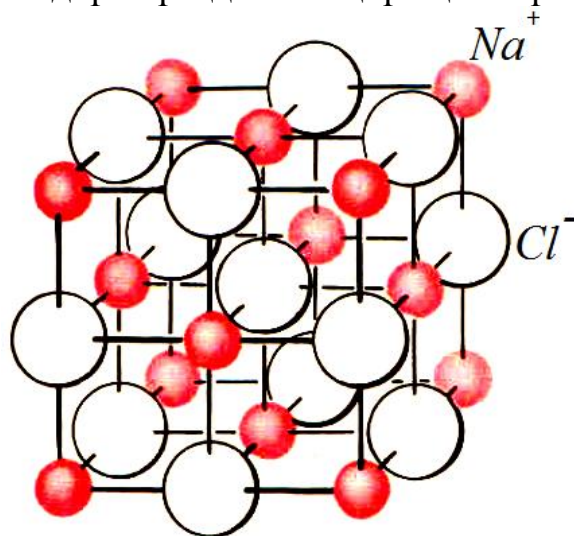


ковалентӣ, ионӣ, металӣ ва вандерваалсӣ) ба чор намуд чудо карда мешаванд.

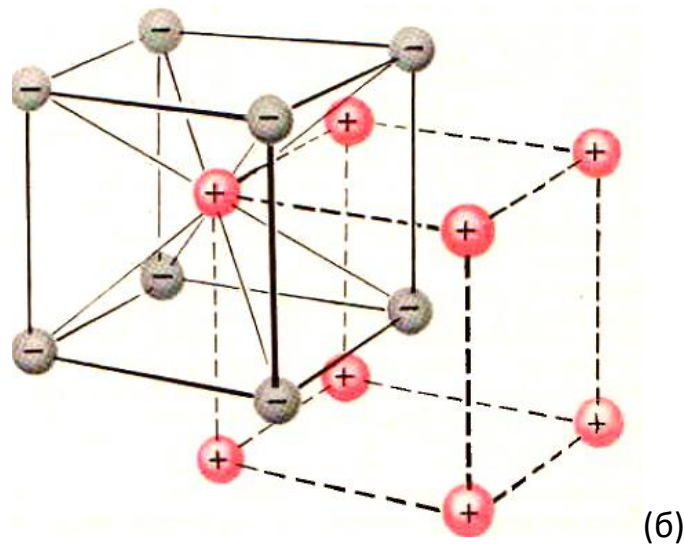
Алоқамандии ковалентӣ, ионӣ, металӣ ва вандерваалсӣ намудҳои асосии робитаҳои химиявӣ ба ҳисоб мераванд. Вобаста ба намуди робитаи байни зарраҳо ҷисмҳои саҳти кристалиро ба якҷанд гурӯҳи чудо кардан мумкин аст: ионӣ, ковалентӣ, металӣ, молекулавӣ ва кристалҳои робитаи гидрогенӣ дошта. Ҳар кадоме аз ин алоқамандиҳо ва хусусиятҳои онҳо мухтасар аз назар мегузаронем.

а) Кристалҳои ионӣ. Робитаи ионӣ байни зарраҳо ҳангоми таъсири атомҳои норасоии электронҳои валентӣ дошта бо атомҳои миқдори электронҳои қабати беруниашон барзиёд ба амал меояд. Аз диди энергетикӣ ҳангоми чунин бархӯрд протсеси гузариши электрони қабати берунаи атоми потенциали ионизатсияш хурд ба қабати валентии атоми потенциали ионизатсияш калон баргаришт дорад. Дар натиҷа ионҳои мусбат ва манфӣ заряднок ба вуҷуд меоянд, ки бо қувваҳои электростатикӣ ба ҳам ҷазб мешаванд. Робитаи ионӣ робитаи носер аст, чунки ҳар як иони манфӣ ионҳои мусбатро ҷазб мекунад ҳар як иони мусбат ҳаммаи ионҳои манфиро ба худ мекашад. Робитаи ионӣ самтнок аст. Хурдшавии андозаи ион ва афзудани зарядаш ба зиёдшавии энергияи робита, яъне ба баланд гардидани температураи гузариши мавод, камшавии коэффисиенти вазъшавии ҳароратӣ ва зиёдшавии модули чандирӣ меорад. Ба кристалҳои ионӣ фурубурди зиёди афканишот дар соҳаи инфрасурхи спектр, бузургии ками электргузаронӣ дар температураҳои паст ва ноқилияти ҳуби ионӣ дар температураҳои баланд хос аст.

Дар гиреҳҳои панҷараи кристалии ионӣ ионҳои аломаташон гуногун ҷойгир шудаанд. Робитае, ки бо қувваи кашиши электростатикӣ дар байни ионҳои мусбату манфӣ тавсиф меёбад, гетерополярӣ (ё ионӣ) ном дорад. Чунин робита асосан дар байни элементҳои металҳои ишқорӣ бо галогенҳо ба амал меояд. Масалан, дар кристали намаки ошӣ  $\text{NaCl}$  (расми 4.8) ионҳои мусбати натрий (кураҳои зард) ва ионҳои манфии хлор (кураҳои сабз) бо тартиб дар гиреҳҳои панҷара ҷойгиранд.



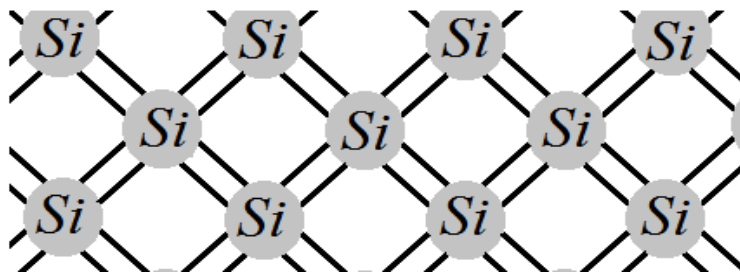
(a)



Расми 4.8 Панчараи кристалии намаки ошӣ (а) ва хлорид сезий (б).

Тақсимои электронҳо дар ин гуна кристалҳо ба тақсимои электронҳо дар атомҳои элементҳои инертӣ монанд мебошад. Масалан, агар атомҳои нейтралӣ натрий  $Na$  ва хлор  $Cl$  тақсимотҳои электрони  $Na 1S^2 2S^2 2P^6 3S^1$  ва  $Cl 1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^5$  дошта бошанд, он гоҳ дар кристали  $NaCl$  ионҳои  $Na^+$  ва  $Cl^-$  дорои конфигуратсияи электрони зерин мешаванд:  $Na^+ 1S^2 2S^2 2P^6$ ,  $Cl^- 1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^6$ , ки мутобиқан ба атомҳои нейтралӣ неон ва аргон хос мебошанд. Чунин конфигуратсияи электрони ҳосилшуда ба тақсимои сферавӣ-симметрии зарядҳои электрӣ меорад. Аз ин сабаб, чунин ҳисобидан мумкин аст, ки тақсимои зарядҳои электрӣ дар кристалҳои ионӣ низ симметрияи сферавӣ дорад.

б) **Кристалҳои ковалентӣ.** Дар гиреҳҳои панчараи кристалӣ атомҳои нейтралӣ ҷойгир шудаанд. Робитаи байни атомҳо дар кристал робитаи гомеополарӣ (ё ковалентӣ) ном дорад. Ин навъ алоқа тавассути ҷуфтҳои электронӣ пайдо мешавад (як электрони аз ҳар атом). Аз ин сабаб робитаи ковалентӣ хосияти самтӣ дорад. Моҳияти робитаҳои ковалентиро механикаи квантӣ шарҳ медиҳад. Ба сифати мисолҳои кристалҳои атомӣ (ковалентӣ) графит ва алмос номбар шуда метавонанд (нимноқилҳо: германий ва силитсий низ ба чунин навъ тааллуқ доранд).



Робитаи ковалентӣ дар байни атомҳои як ё якчанд элементҳои химиявӣ, ки потенциали ионизатсионии наздик доранд, ба амал меояд. Дар намуди тоза робитаи ковалентӣ ҳангоми таъсири мутақобилаи элементҳои нисфи қабати электронашон пур амалӣ мешавад. Аз химияи квантӣ бармеояд, ки системаи аз ядро мусбат зарядноку қабатҳои электрони манфӣ

заряднок иборат буда, ҳангоми қабати электронӣ пур будан, энергияи потенциалии минималӣ дорад, яъне устувор мебошад. Бинобар ин, атомҳои қабати беруниашон қариб пур кӯшиш менамоянд, ки электронҳои намерасидашонро қабул кунанд атомҳои дар қабати беруниашон як ё ду электрон дошта электронҳои зиёдатиरो диҳанд. Атомҳое, ки нисфи қабати беруниашон пур аст, электронҳояшонро мубодила менамоянд. Дар ин маврид чуфти электронҳое, ки моменти магнитии хусусиашон (спинашон) муқобил равонаанд, ба вучуд меоянд. Ин чуфти электронҳо ба ҳарду атом тааллуқ доранд аз ин сабаб, қабати электрони атомҳои ҳамсоя то конфигурациҳои устувор пур мешаванд.

Дар байни ионҳои мусбат заряднок ба амал омадани чуфти электронҳои манфӣ заряднок ба ҷазби ҳар ду ион ба электронҳои умумишуда меорад. Ҳар як атом бо якчанд ҳамсояш таъсир мекунад ва адади ҳамсояҳо ба адади электронҳои валентии атом баробар аст. Пас, робитаи ковалентӣ сер аст. Ғайр аз ин, атом танҳо бо атомҳое, ки мубодилаи электрон намудааст, таъсир мекунад, яъне робитаи ковалентӣ самтнок мебошад.

Андозаи ядроӣ мусбат заряднок назар ба андозаи қабати электронҳои валентӣ ниҳоят хурд аст, аз ин сабаб, ҳангоми таҳлили қувваҳои ҷазбшавӣ чунин ҳисобидан мумкин аст, ки зарядҳои нуқтагӣ таъсир мекунанд. Қувваи ҷазбшавӣ бо қонуни Кулон ифода мешавад. Ҳангоми наздикшавии атомҳо қабатҳои электрони дохилӣ ҳамдигарро тела медиҳанд ва ин қувва ба дараҷаи  $n$  ( $n > 2$ )-и масофаи байнашон мутаносуби чаппа мебошад.

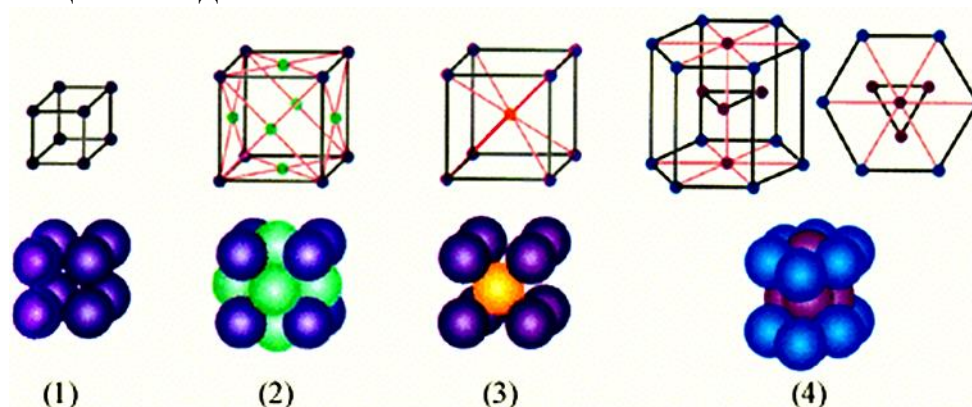
Афзоиши рақами тартибии элемент ба зиёдшавии миқдори қабатҳои электронӣ меорад, ки таъсири ядроҳои мусбат заряднокро бо электронҳои валентӣ суст мекунад. Аз ин сабаб, қувваи кашиши ҳамдигарӣ кам мешавад, ки мутобиқан ба камшавии чуқурии хоҳи потенциалии меоварад. Дар натиҷа бо афзудани рақами тартибии элемент температураи гудозиш, модули чандирӣ кам мешаваду коэффисиенти васеъшавии ҳароратӣ меафзояд.

в) Кристалҳои метали. Дар гиреҳои панҷара ионҳои мусбат ҷойгир шуда, дар байни онҳо электронҳо ҷойгиранд, ки бетартибона ҳаракат мекунанд. Ин электронҳо ҳамчун «семент» ионҳои мусбатро дар панҷара нигоҳ медоранд, то ин ки онҳо аз панҷара баромада нараванд. Дар кристалҳои метали робитаи байни атомҳо дар натиҷаи таъсири мутақобилаи ионҳои мусбати ботартиб ҷойгирифта бо электронҳои валентии умумишуда, ки дар тамоми ҳаҷми кристал ҳаракат мекунанд, ба амал меояд. Дар металҳо адади электронҳои валентӣ зиёд нест ва он барои ба амал овардани робитаи ковалентӣ бо электронҳои чуфтшуда нокифоя аст. Масалан, дар кристали метали литий ҳар як атом 8 ҳамсояи наздиктарин дорад. Барои ба вучуд овардани робитаи ковалентӣ лозим аст, ки атоми литий 8 электрони валентӣ дошта бошад.

Робитаи метали байни атомҳои як ё якчанд элементҳои химиявӣ, ки қабати электронҳои валентиашон аз нисф кам пуршудаанд, ба амал омада метавонад. Азбаски энергияи ион дар мавриди пурра будани савияи энергетикӣ берунаш минималӣ аст, атомҳо электронҳои берунашонро сар медиҳанд ва ба ионҳои мусбат заряднок табдил меёбанд ва байнашон электронҳои озод (гази электронӣ) ҷойгир мешаванд.

Ҳар як иони мусбат заряднок аз ҷониби электронҳои озод ҷазб мешавад, дар натиҷа, ҳама ионҳо ба воситаи абри умумигардидаи электронҳои озод ҳамдигарро ҷазб менамоянд. Робитаи металлӣ самтнок ва носер аст. Ҳамин хусусияти робитаи металлӣ ба он оварда мерасонад, ки ҳамсоҳҳои ион зиёд буда метавонанд. Ин шумора бо омилҳои геометрии ва энергетикӣ муайян карда мешавад. Аз ин сабаб, панҷараи кристалии металлҳо зич банду бастанд. Хосияти дигари муҳими панҷараи металлӣ ин мавҷудияти электронҳои озод мебошад. Бо таъсири майдони электрии беруна электронҳо бо осонӣ мекӯчанд, ки сабабгори ноқилияти хуби ҳамаи металлҳоанд. Электронҳои озод ба осонӣ суръаташонро зиёд ё кам карда метавонанд, яъне энергияи кинетикиашонро тағйир медиҳанд. Аз ин лиҳоз, маводҳои металлӣ кванти энергияи дилҳои майдони электромагнитиро фурӯ бурда метавонанд, яъне металлҳо барои мавҷҳои радио ва рӯшноӣ ношаффофанд. Электрони озод кванти майдони электромагнитиро фурӯ бурда меангезад ва ҳангоми ба ҳолати статсионарӣ баргаштанаш чунин квантро хориҷ менамояд. Ба тарзи дигар гӯем, маводҳои металлӣ мавҷҳои радио ва рӯшноиро инъикос менамоянд.

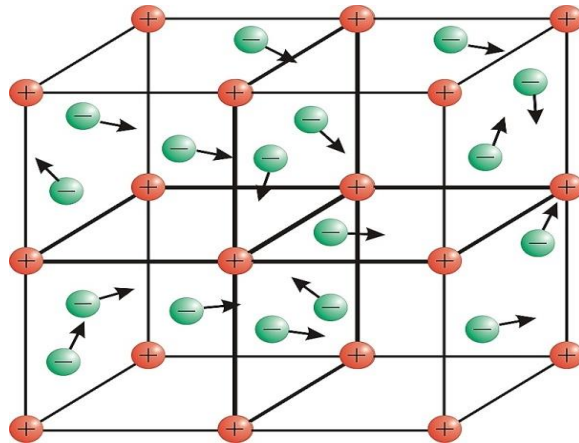
Дар расми 4.9 баъзе панҷараҳои содаи кристалӣ (куби ҳаҷманмарказонида, кубӣ рӯямарказонида ва пурра гексогоналӣ) тасвир ёфтаанд, ки ба бисёр металлҳо хосанд.



Расми 4.9 Панҷараҳои кристалии сода: 1 – панҷараи содаи кубӣ; 2 – панҷараи рӯяҳо марказонидаи кубӣ; 3 – панҷараи ҳаҷман марказонидаи кубӣ; 4 – панҷараи гексогоналӣ.

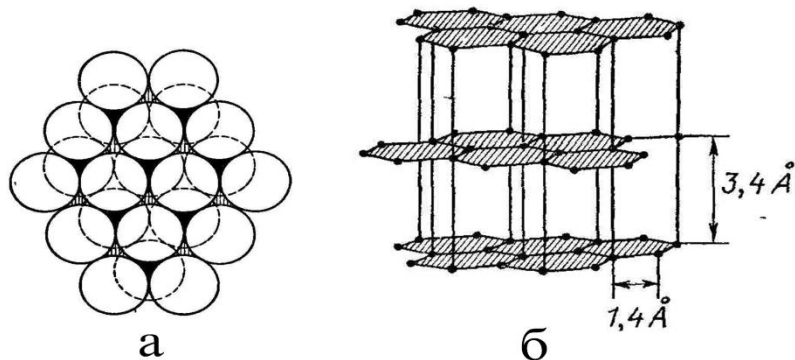
Дар аксари мавридҳо ҳар як атом як ё ду электрони валентӣ дорад. Азбаски металлҳо қобилияти зиёди электр ва гармигузаронӣ доранд, ба ҳулоса омадан мумкин аст, ки дар онҳо миқдори зиёди электронҳои озод мавҷуданд ва имконияти озодона кучидан доранд. Аз ин дид кристалҳои металиро ҳамчун панҷараи фазогие тасаввур намудан мумкин аст, ки дар гирехҳои он ионҳои мусбат ҷойгиранд ва чунин панҷара ба «газ»-и электронҳои озод ғўтонида шудааст. Ҳамин тавр, дар кристалҳои металлӣ миқдори на он қадар зиёди электронҳои валентӣ, ки умумӣ шудаанд ва қобилияти озодона ҳаракат карданро доранд, миқдори зиёди ионҳои мусбатро мепайвандад. Кристалҳое, ки аз элементҳои гурӯҳи мобайнии системаи даврӣ ба амал меоянд, бо он хосанд, ки дар атомҳои онҳо қабатҳои электрони пурношуда мавҷуданд. Ин гуна электронҳо шумораи элект-

тронҳои валентии атомро зиёд менамоянд ва аз ин сабаб, кристалҳои чунин металҳо дорой бузургии зиёди энергияи робитаанд.



Барои қариб ҳамаи металҳо зичии калонтарини ҷойгиршавии элементҳои таркибиашон (атомҳо) хос аст. Бо ду намуд ҷойгиршавии зичи зарраҳои куррашакл- кубӣ ва гексагоналиро муҳокима мекунем.

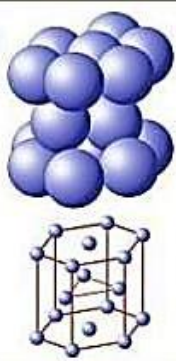
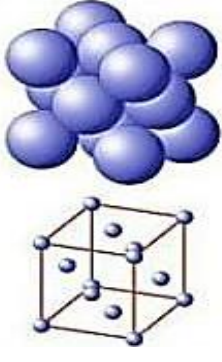
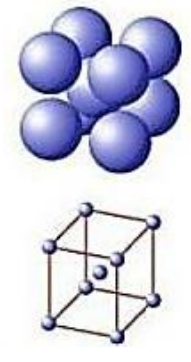
Бигузур дар ягон ҳамворӣ як қабати кураҳои якхела ҷой гирифта бошад. Он гоҳ ҷойгиршавии зичи онҳо ҳамон тавре, ки дар расми 4.10,а тасвир ёфтааст, амалӣ мешавад. Чуноне ки аз расм бармеояд, дар ин ҳол ҳар як кура бо шаш кураи дигар ихота мегардад. Барои он ки кураҳои дигар дар ҳар ду тарафи ин қабат зич ҷой гиранд, кураҳои қабатҳои поёнӣ ва болоиро чунон ҷойгир намудан лозим мешавад, ки онҳо ба чуқуриҳои (нишебҳои) қабати ибтидоӣ рост оянд. Дар расми 4.10,а ду қабат тасвир



Расми 4.10.

ёфтааст. Кураҳои қабати поёнӣ бо пунктир, чуқуриҳо - сиёҳ тасвир шудаанд. Аз расм дида мешавад, ки дар қабати поёнӣ нисфи чуқурчаҳо холианд, яъне онҳоро кураҳои қабати якум банд накардаанд (бо хатҳои штрихӣ ихота ёфтаанд). Ҳангоми аз боло қабати сеюмро гузоштан ду роҳи ҷойгиркунии зич мавҷуд аст: кураҳо, ё ба чуқуриҳои торик ҷой менамоем, ё ба штрихӣ. Дар мавриди якум ҷойгиршавии гексагоналиро ва дар мавриди дуюм-кубии рӯяҳо марказонидаро ҳосил менамоем.



Ҷойгирии зичи гексагоналӣ	Ҷойгирии кубии рӯяҳо марказонидашуда	Ҷойгирии кубии ҳаҷман марказонидашуда
<b>а</b> 	<b>б</b> 	<b>в</b> 
мағний, титан, кобалт, рӯҳ, кад- мий	алюминий, калсий, никел, мис, сурб, нуқра, тилло	металҳои ишқорӣ, барий, ванадий, хром, оҳан

Мисоли ҷойгирии зичи кубии рӯяҳо марказонидашуда ионҳои  $\text{Na}^+$  ва  $\text{Cl}^-$  дар хлориди натрий ва панҷараи гексагоналии тавсифи қабатӣ доштаи графит мебошад (расми 4.10 б). Панҷараи графит аз қабатҳои ҳамвори паралелӣ иборат аст, ки дар онҳо атомҳо шашкунҷаи дурустро ҳосил менамоянд. Масофаи байни қабатҳо назар ба масофаи байни атомҳо дар дохили қабат зиёд мебошад. Ин намуди ҷойгирӣ аз ҳам ҷудошавии осони қабатҳои графитиро таъмин менамояд.

Дар ҷадвали 4.2 структураи кристалии металлҳо ва намуди бандубасти онҳо оварда шудааст.

Бо панҷ, ҳафт ва ҳашткунҷаи дуруст ҳамвориро бефосила (бе холигӣ) пур намудан номумкин аст.

Ҷадвали 4.2

## Структураи кристалии металлҳо

<b>Li</b> 3	<b>Be</b> 2										
<b>Na</b> 3	<b>Mg</b> 2										
<b>K</b> 3	<b>Ca</b> 1;2	<b>Sc</b> 1;2	<b>Ti</b> 2;3	<b>V</b> 3	<b>Cr</b> 3	<b>Mn</b> 1	<b>Fe</b> 1;3	<b>Co</b> 1;2	<b>Ni</b> 1;2	<b>Cu</b> 1	<b>Zn</b> 2
<b>Rb</b> 3	<b>Sr</b> 1	<b>Y</b> 2	<b>Zr</b> 2;3	<b>Nb</b> 3	<b>Mo</b> 2;3	<b>Tc</b> 2	<b>Ru</b> 1;2	<b>Rh</b> 1	<b>Rd</b> 1	<b>Ag</b> 1	<b>Cd</b> 2
<b>Cs</b> 3	<b>Ba</b> 3	<b>La</b> 1;2	<b>Hf</b> 2;3	<b>Ta</b> 3	<b>W</b> 3	<b>Re</b> 2	<b>Os</b> 1;2	<b>Ir</b> 1	<b>Pt</b> 1	<b>Au</b> 1	<b>Hg</b> 1

Ишораҳо: 1–бандубасти зичи кубӣ; 2– бандубасти зичи гексагоналӣ;

3–панҷараи ҳаҷманмарказонидаи кубӣ.

г) **Кристалҳои молекулавӣ.** Дар гиреҳҳои панҷараи фазоии кристалҳои молекулавӣ молекулаҳои нейтралӣ ҷойгиранд. Робитаи байни молекулаҳо табиатан ба қувваи ҷозибаи байни молекулаҳо монанд аст, ки қувваҳои ван-

дерваалсї ном гирифтаанд. Кристалҳои молекулавиро элементҳои гуногуни химиявї, аз он ҷумла, оксиген, хлор,  $\text{CO}_2$  ва диг. ҳангоми дар ҳолати саҳт будани худ таъсис дода метавонанд. Аксар моддаҳои органикї дар ҳолати саҳтї кристалҳои молекулавї мебошанд. Инчунин, кристалҳое, ки элементҳои инертї дар ҳолати саҳтиашон таъсис медиҳанд, низ ба кристалҳои молекулавї тааллуқ доранд, ҷунки алоқаҳои байни атомҳои инертї айнан ба мисли алоқаҳои байнимолекулавї мебошанд.

Ҳосилшавии робитаи поляризатсиониро дар мисоли атомҳои газҳои инертї муҳокима менамоем. Қабати электронии атоми алоҳида симметрї мебошад. Ҳангоми наздикшавии ду атом қабатҳои электрониашон ба ҳам таъсироти электрї намуда деформатсия мешаванд. Дар натиҷа атомҳо ба диполҳо табдил ёфта ба ҳамдигар ҷазб мешаванд. Чи қадаре ки рақами тартибии атом зиёд бошад, ҳамон қадар қабатҳои электрониаш зиёд асту робитаи электронҳои валентї бо ядро сусттар мешавад ва деформатсияи он осон мегардад. Дар натиҷа, моменти диполии атом ва энергияи робитаи байни атомҳо низ меафзояд. Аз ин сабаб, температураи ҷўшиши газҳои инертїи вазнин аз температураи ҷўшиши газҳои сабук баландтар мебошад.

Дар кристалҳои молекулавї робитаи байни зарраҳо (атом ва ё молекулаҳои нейтралї) бо қувваҳои кашиши вандерваалсї муайян карда мешавад. Барои шарҳи пайдоиши ин қувваҳо ба хотир меорем, ки электрон дар атом, ҳатто дар ҳолати пасттарини энергетикї, нисбат ба ядро он ором нест. Дар натиҷаи ҳаракати электрон нисбат ба ядро мавқеи лаҳзавии маркази абри электронї бо мавқеи маркази ядро мувофиқ намеояд ва, аз ин рӯ, дар ҷунин лаҳзаҳо дар атом моменти электрї (диполї) пайдо мешавад (қимати миёнаи он баробари сифр аст). Агар бузургии моменти диполии лаҳзавии як зарраро  $\vec{P}_1$  гўем, он гоҳ он дар масофаи  $R$  майдони электрии шадидияташ  $\vec{E}$ -ро ҳосил менамояд:

$$\vec{E} = \frac{2\vec{P}_1}{R^3}. \quad (4.1)$$

Ин майдон, дар навбати худ, дар зарраи дигар моменти диполии  $\vec{P}_2$ -ро ҳосил менамояд:

$$\vec{P}_2 = \alpha \vec{E} = 2\alpha \frac{\vec{P}_1}{R^3}, \quad (4.2)$$

ин ҷо  $\alpha$ -коэффисиенти поляризатсия мебошад. Энергияи таъсири мутақобилаи диполҳои лаҳзагии  $\vec{P}_1$  ва  $\vec{P}_2$ , ки аз ҳамдигар дар масофаи  $R$  ҷойгиранд, ҷунин аст:

$$U(R) = \frac{\vec{P}_1 \vec{P}_2}{R^3} - \frac{3(\vec{P}_1 \vec{R})(\vec{P}_2 \vec{R})}{R^5}. \quad (4.3)$$

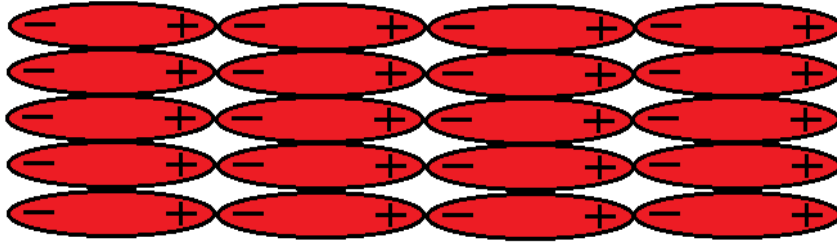
Агар самти диполҳои лаҳзагї  $\vec{P}_1$  ва  $\vec{P}_2$  бо ҳам паралел бошанд, он гоҳ тақрибан ҷунин таносуб ҷой дорад:

$$U(R) \cong -\frac{P_1 P_2}{R^3} = -\frac{4\alpha P_1^2}{R^6}. \quad (4.4)$$

Ин формула ифодаи энергияи потенциалии электростатикӣи ҷозибавӣ ду дипол мебошад. Таъсири мутақобилаеро, ки ба энергияи намуди вобастагии  $R^{-6}$  меоранд, таъсироти дипол-диполї ё ки вандерваалсї меноманд. Аз ин сабаб, дар кристалҳои молекулавї робитаҳои байни атомҳо ё моле-

кулаҳои нейтралӣ бо қувваи ҷозибаи Ван-дер-Ваалс ба амал оварда мешаванд.

Ҳангоми наздикшавии молекулаҳо айнан чунин протсессҳо ба амал меоянд.

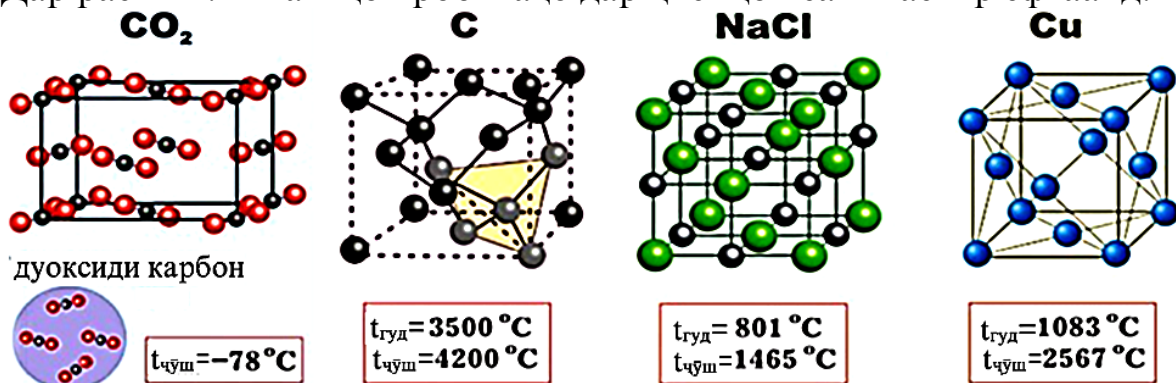


Бо афзудани массаи молӣ momenti диполӣ ва энергияи таъсири мутақобилаи молекулаҳо зиёд мешавад. Аз ин сабаб, дар температураҳои мӯътадил моддаҳои массаи молиашон кам дар ҳолати газӣ қарор мегиранд, моддаҳои массаи молиашон зиёд бошанд дар ҳолати моеъ ва моддаҳои массаи молиашон ниҳоят зиёд дар ҳолати сахтӣ воқеъ мегарданд.

Кристалҳои молекулавӣ температураи гудозиши паст доранд, вале бо сабаби кам будани бузургии энергияи робита фишурдашавии зиёд доранд. Кристалҳои элементҳои инертӣ диэлектрикҳои шаффоф мебошанд.

д) **Кристалҳои робитаҳои гидрогенӣ дошта.** Дар табиат кристалҳое низ бисёранд, ки дар онҳо гидроген нақши муҳимро мебозад. Азбаски гидрогени нейтралӣ танҳо як электрон дорад, он бояд фақат бо як атоми дигар пайваст шавад. Аммо дар аксар мавридҳо атоми гидроген дар як вақт бо ду атоми дигар алоқаманд шуда робитаи махсуси гидрогениро ҳосил менамояд. Ин робита чунин ҳосил мешавад: электрони атоми гидроген бо як атом ва ядро-протони боқимонда бо атоми дигар пайваст мешаванд. Робитаҳои гидрогенӣ асосан дар системаҳое ҳосил мешаванд, ки дар таркибашон гидроген ва атомҳои қабатҳои электрониашон қариб пуршуда, масалан, фтор, нитроген, хлор, бром ва сулфур доранд. Робитаи гидрогенӣ яке аз намудҳои муҳими таъсири мутақобилаи молекулаҳо дар об мебошад. Ин намуди робита дар якҷоягӣ бо ҷозибаи электростатикӣ диполии молекулаҳои об хосиятҳои ғайримуқаррарии физикавӣ об ва яхро муайян мекунад. Робитаи гидрогенӣ ҳодисаҳои ассотсиатсия ва полимеризатсияи молекулаҳоро ба амал меорад.

Дар расми 4.11 навъҳои робитаҳо дар ҷисмҳои сахт тасвир ёфтаанд.



Расми 4.11.



Дар чадвали 4.3 намудҳои физикавии кристалҳо ва хосиятҳои физикавии онҳо оварда шудааст.

Чадвали 4.3

## Намудҳои физикавии кристалҳо

Намуди кристал	Зарраҳое, ки панҷараи фазоиро ҳосил мекунад	Хосиятҳои асосӣ	Мисоли чунин кристалҳо
молекулавӣ	молекула	Температураи пасти гудозиш. Сахтии кам.	нафталин
металӣ	ионҳои мусбат	Ноқилияти электрӣ ва гармигузаронии зиёд.	металҳо
ковалентӣ	Атом, ё ки гурӯҳи атомҳо	Температураи ниҳоят баланди гудозиш. Сахтии ниҳоят зиёд.	алмос, кремний
ионӣ	ионҳои мусбат ва манфӣ	Температураи баланди гудозиш. Чарсӣ (муртӣ).	намаки ошӣ

Натиҷаҳои дар чадвали 4.4 овардашуда мустаҳкамии робитаҳои гуногунро нишон медиҳанд. Мустаҳкамии робита бо энергияе, ки барои кандани ҳамаи робитаҳо дар як мол модда лозим аст, тавсиф мешавад. Робитаи аз ҳама мустаҳкам ковалентӣ мебошад аз он камтар ионӣ, баъди аз он металӣ. Робитаи сусттарин робитаи поляризатсионӣ аст.

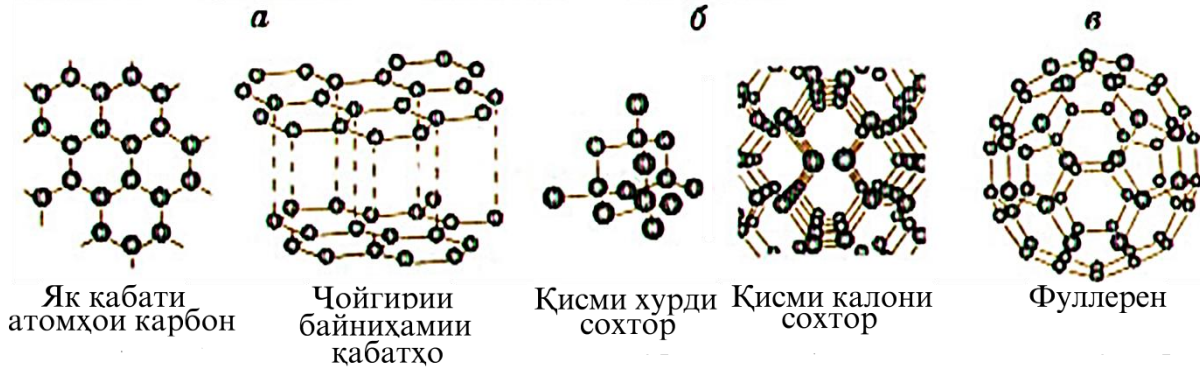
Чадвали 4.4

Намуди робита	Ковалентӣ		Ионӣ		Металӣ		Поляризатсионӣ	
	SiC	C (алмос)	LiF	NaCl	Fe	Na	Ar	CH <sub>4</sub>
Энергияи робита, кҶ/мол	1180	750	1000	750	390	110	7,5	10

Хосиятҳои асосии моддаро навъ ва энергияи робитаи химиявӣ муайян менамояд. Масалан, карбон бо чор робитаи мустаҳками ковалентӣ панҷараи кристалии ниҳоят сахти алмосро ба вуҷуд меорад. Ин кристал моддаи аз ҳама сахттарини табиӣ ба ҳисоб меравад. Ҳамон карбон дар намуди графит ҳам мавҷуд аст. Дар кристали графит се электрони берунаи атом робитаи ковалентиро ба вуҷуд меорад, ки ин робитаҳо атомҳоро дар ҳамвориҳои мустаҳками атомӣ ё қабатҳо пайвастанд нигоҳ медорад. Электрони валентии чорум робитаи металиро ҳосил мекунад, ки сабаби чараёнгузаронии хуби графит мегардад. Ҳамвориҳои атомӣ, ки бо робитаи ковалентӣ ба вуҷуд омадаанд, байни ҳам бо робитаи сусти поляризатсионӣ пайвастанд. Ин аст, ки графит яке аз кристалҳои ниҳоят мулоим ба ҳисоб меравад. Қабатҳои атомии он ба осонӣ нисбат ба ҳамдигар лағжида мета-

вонанд ва бо таъсири механикии суст ҳам аз ҳамдигар чудо мешаванд. Чунин протсес ҳангоми бо қалам дар қоғаз навиштан ба амал меояд.

Ҳамин тавр, барои як элемент ё пайвастагӣ якчанд намуди кристалҳо вучуд дошта метавонанд ва дар ҳамон як мавод дар як вақт якчанд навъҳои робитаи химиявӣ амалӣ шуданаш мумкин аст (расми 4.12).



Расми 4.12. Структураи кристалии модификатсияҳои аллотропии карбон: *a*-графит, *b*- алмос, *e*- фуллерен

Дар баъзе мавридҳо ҳангоми тағйир ёфтани шароити беруна тағйироти намуди робита мушоҳида мешавад. Мисол, қалъагӣ элементи гурӯҳи чорум мебошад ва дар он бояд робитаи ковалентӣ амалӣ шавад, аммо қалъагӣ панҷ қабати электронӣ дорад ва электронҳои валентӣ бо ядро суст пайвастанд. Аз ин сабаб, ҳангоми ангезиши ҳароратӣ электронҳо аз атомҳо канда шуда робитаи металиро ҳосил менамоянд. То температураи 13 °C робитаҳои байни атомҳо дар қалъагӣ ковалентӣ мебошанд ва он нимноқил ба ҳисоб меравад - қалъагии «тира». Аз температураи 13 °C зиёд робитаҳои ковалентӣ ба металӣ табдил меёбанд ва қалъагӣ ҳамчун металл рафтор менамояд - қалъагии «сафед».

Қайд кардан лозим аст, ки табдилёбии қалъагии сафед ба қалъагии тира қатъиян дар температураи 13°C ба амал намеояд. Сабаби ин гуногунии зичии бандубасти атомҳо мебошад (~25%). Ҳангоми бозсозии панҷараи кристалӣ дар модда шиддатҳои чандирӣ ба вучуд меоянд, ки энергияи системаро зиёд менамояд. Аз ин рӯ, табдилёбӣ ҳангоми фавқулсардӣ ба амал меояд. Шиддатҳои чандирӣ, ки ҳангоми табдилёбӣ пайдо мешаванд, моддаро вайрон мекунад ва қалъагии тира баъди чунин табдилот ба хока мубаддал мегардад.

Мисоли дигари тағйирёбии навъи робита карбон мебошад. Он дар навъҳои алмос ва графит вучуд дошта метавонад. Ҳангоми гарм кардани алмос то 1000 °C он бо суръати назаррас ба графит мегузарад. Аммо агар фишори 10<sup>5</sup> атм-ро дар температураи 2000 °C ҳосил кунем, структураи зичи алмос ( $\rho_{\text{алмос}} = 3500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{графит}} = 2250 \text{ кг/м}^3$ ) устувор мегардад. Соли 1955 дар лабораторияи «Ценерал электрик»-и америкой алмоси сунъии андозааш ~1 мм-ро ҳосил карданд. Дар Иттиҳоди Шӯравӣ тавлиди алмоси сунъӣ соли 1961 ба роҳ монда шуда буд.

Адади ҳамсояҳои наздиктарини атомро дар панҷараи кристалӣ адади координатсионӣ **K** меноманд. Дар панҷараи кристалии ионӣ адади коор-

динатсионӣ то ба 6 мерасад, ки панҷараи чафс ба ҳисоб меравад. Ҳангоми тавлиди робитаи металӣ панҷараи кристалӣ боз ҳам зичтар мешавад. Адади координатсионӣ  $K$  то 8 ва 12 мерасад. Дар маводи металӣ асосан се навъи панҷараи кристалӣ амалӣ шуданаш мумкин аст: кубии ҳаҷманмарказонида (КҲМ), кубии рӯямарказонида (КРМ) ва гексагоналии зич (ГЗ).

Панҷараи КҲМ-ро металҳои зерин дороанд: волфрам, молибден, ниобий, металҳои ишқорӣ, навъи пасттемпературавии оҳан, титан. Нукра, мис, алюминий, никел навъи баландтемпературавии оҳан панҷараи КРМ-ро доранд. Магний, руҳ, кадмий, навъи баландтемпературавии титан дорои панҷараи ГЗ мебошанд.

Зичии панҷараи кристалиро (ҳаҷми ишғолкардаи атом) бо коэффисиенти пуршавӣ  $Z$  ифода намудан мусоид мебошад, яъне бо нисбати ҳаҷми ишғолкардаи атом бар ҳаҷми умумии кристал, ки бо фоизҳо ифода меёбад. Чи қадар ки адади координатсионӣ  $K$  зиёд бошад, ҳамон қадар коэффисиенти пуршавии ячейкаи кристалӣ  $Z$  зиёд аст.

Барои баъзе намудҳои панҷараҳои кристалӣ дар ҷадвали поин ин параметрҳо оварда шудаанд.

Намуди панҷараи фазогӣ	Кубии сода	КҲМ	КРМ	ГЗБ
$K$	6	8	12	12
$Z, \%$	52	68	74	74

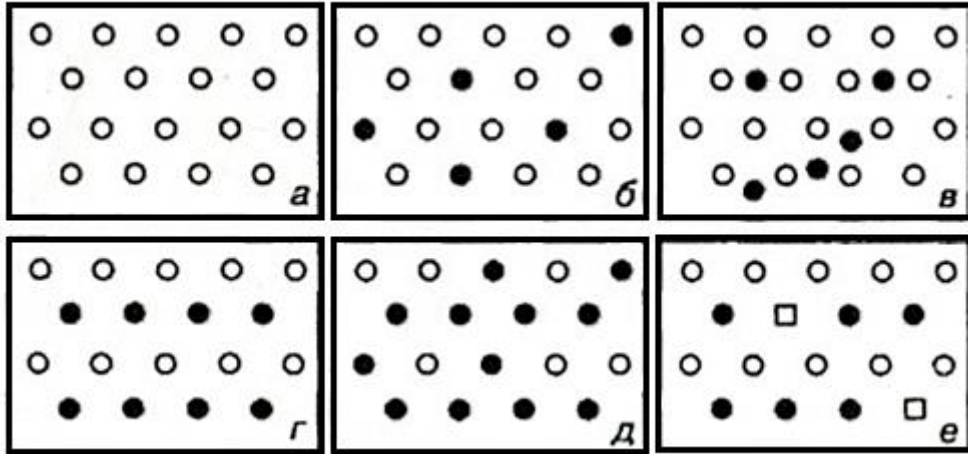
Ноқилияти электрии металҳое, ки панҷараашон зич ғунҷонидашуда, нисбат ба ноқилияти металҳои панҷараашон зичии камтар дошта хубтар ҳисоб меёбад. Зеро дар металҳои панҷараашон зич ғунҷонидашуда зичии гази электронӣ зиёдтар аст, яъне концентратсияи ҳомилон ё худ барандагон асосии заряд - электронҳои озод зиёд мебошад.

Дар расми 4.13 дар системаи даврӣ ҷой гирифтани элементҳои тасвир ёфтааст, ки кристалҳои металӣ, атомӣ ва молекулавиро ҳосил менамоянд.

Даврҳо	Гурӯҳҳо							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I							H <sub>2</sub>	He
II	Li	Be	B	C	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	Ne
III	Na	Mg	Al	Si	P <sub>4</sub>	S <sub>8</sub>	Cl <sub>2</sub>	Ar
IV	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br <sub>2</sub>	Kr
V	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I <sub>2</sub>	Xe
	Металлӣ				Атомӣ		Молекулавӣ	

Расми 4.13

Ҷисмҳои саҳт маҳдудҳои зеринро ҳосил карда метавонанд:



*a, б, в*- ҳалқунанда – элементи химиявӣ (*a*- ҳалқунанда; *б*- маҳлули ҷойнишинӣ (муовиза); *в*- маҳлули воридшавӣ); *г, д, е* –ҳалқунанда – пайвастагӣ (*г*- ҳалқунанда; *д*- маҳлули ҷойнишинӣ ; *е*- маҳлули тарҳкунӣ (баровардӣ), квадратҳо- гиреҳҳои холӣ).

#### § 4.4 Гармиғунҷоиши кристалҳо

Ҷойгиршавии зарраҳо дар гиреҳҳои панҷараи кристалӣ ба минимуми энергияи потенциалии таъсири мутақобилаи онҳо мувофиқ меояд. Ҳангоми аз мавқеи мувозинатӣ ба ягон самт кӯчидани зарра қувваи бозгашт ба ҳолати аввала пайдо мешавад ва зарраро ба лапиш мебарорад. Лапиш ба самти дилхоҳ чун маҷмӯи лапишҳо нисбат ба се тирӣ координат ба вуҷуд меояд. Ҳолати ҳар як зарра дар кристал бо се дараҷаи озоди лапиш тавсиф дода мешавад, ки ба ҳар кадоми он энергияи  $kT$  ва дар маҷмӯъ дар панҷара энергияи  $3kT$  мувофиқ меояд. Энергияи дохилии як мол моддаи кристалӣ чунин мешавад:  $U = N_A \cdot 3kT = 3RT$ .

Афзоиши энергияи дохилӣ, ки ба тағйироти температура ба як градус мувофиқ меояд, чунин мешавад:

$$C_v = \frac{dU}{dT} \quad C_v = 3R \approx 25 \text{ Ҷ}/(\text{мол К}). \quad (4.5)$$

Ифодаи (4.5) мазмуни қонуни Дюлонг ва Птиро (P.Dulong, 1785-1838; A.Petit, 1791-1820), ки дар асоси таҷрибаҳо муқарар қада шудааст, муайян менамояд.

Мувофиқи ақидаи Нейман ва Копп гармиғунҷоиши моли кристали молекулавӣ ба ҷамъи гармиғунҷоишҳои атоми атомҳои таркибашон баробар аст:

$$C_v = 3Rm = 25m \text{ Ҷ}/(\text{мол К})$$

ки ин ҷо  $m$ – адади умумии атомҳо дар молекула мебошад.

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки дар температураҳои муътадил гармиғунҷоиши аксарияти кристалҳо ба бузургии  $3Rm$  наздик аст (ҷадвали 4.5). Аз ин қоида гармиғунҷоиши алмос, бериллий, силитсий ва бор истисно мебошанд, яъне дар температураи ҳонагӣ аз  $3R$  кам аст.

Модда	Cu	Ag	Pb	NaCl	AgCl	CuCl <sub>2</sub>	PbCl <sub>2</sub>
$C_V, \text{Ҷ}/(\text{мол К})$	23,6	24,0	24,7	51,4	54,7	77,7	77,3

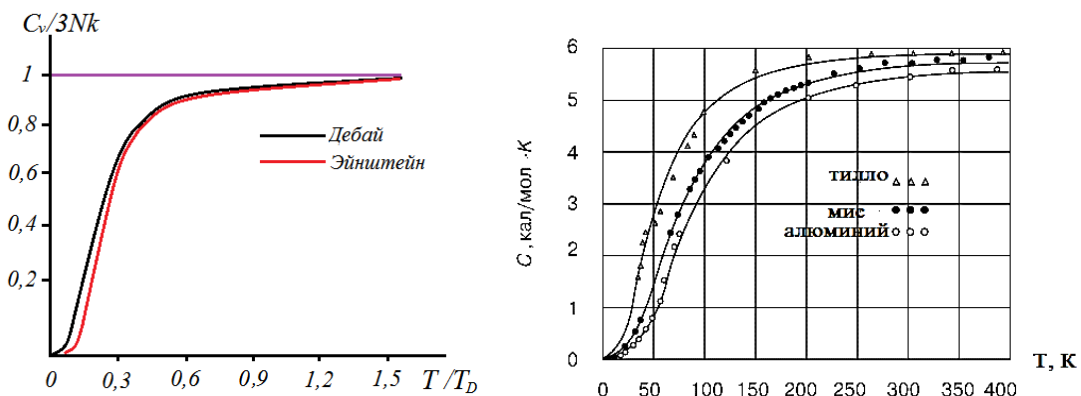
Дар температураҳои баланд ва, хусусан дар температураҳои ниҳоят паст, бузургиҳои таҷрибавӣ аз дурнамои қонуни Дюлонг-Пти ва қоидаи Нейман - Копп фарқи калон мекунад. Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки дар ин мавридҳо принципи классикии тақсимшавии баробари энергия ба дараҷаҳои озод татбиқ намешавад, яъне лапиши атомҳо (осциляторҳо) дар кристал табиати квантӣ доранд. Мувофиқи принципҳои механикаи квантӣ, атомҳои лапандаи кристал энергияро бо порсияҳои дискретӣ фуру ё хорич намуда метавонанд:

$$E_n = nh\nu, (n = 0, 1, 2, \dots).$$

Басомади хоси лапиши атомҳо дар кристал бузургии  $\nu \approx 10^{13}$  Ҳс-ро ташкил медиҳад, энергияи савияи якум бошад  $E_1 = h\nu = 6,6 \cdot 10^{-21}$  Ҷ мебошад. Дар температураи  $T=300\text{K}$  энергияи миёнаи гармӣ бузургии  $kT = 4,1 \cdot 10^{-21}$  Ҷ-ро ташкил медиҳад, ки бо энергияи кванти осцилятор ҳамчен мебошад. Бинобар ин дар температураҳои муътадил қариб ҳамаи атомҳои кристал бо энергияи  $E_1$  дар ҳолати ангишиш мебошанд ва мувофиқи теоремаи баробартақсимшавӣ энергияи ҳароратиашон сер ҳисоб меёбад.

Азбаски ҳаҷми ҷисми саҳт дар вақти гармшавӣ хеле кам тағйир меёбад, гармиғунҷоиш ҳангоми доимӣ будани фишор  $C_p$  назар ба гармиғунҷоиш ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_v$  хеле кам фарқ мекунад, яъне  $C_p \approx C_v$ . Аз ин сабаб, мо танҳо дар бораи гармиғунҷоиши ҷисми саҳт ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм андешаронӣ карда метавонем.

Гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт ба температура вобаста мебошад. Он ба таври графикӣ дар расми 4.14 нишон дода шудааст. Гармиғунҷоиши ҳамаи ҷисмҳои саҳт ҳангоми ба сифри мутлақ наздик шудани температураашон ба  $T^3$  мутаносиб аст.



Расми 4. 14. Вобастагии гармиғунҷоиш ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ба температураи овардашуда мувофиқи назарияҳои Эйнштейн ва Дебай (а) ва вобастагиҳои таҷрибавӣ барои тилло, мис ва алюминий (б).

Назарияи гармиғуноиши ҷисмҳои сахтро, ки натиҷаҳои таҷрибавиро пурра шарҳ дода тавонад, танҳо дар асоси механикаи квантӣ пешниҳод намудан мумкин аст. Эйнштейн тамсилаеро пешниҳод намуд, ки мувофиқи он ҳар як атоми кристалро чун осциляторе қабул намудан мумкин аст, ки бо ягон басомади  $\nu$  мелапад. Барои қимати миёнаи энергияи осцилятори квантии якченака  $\bar{w}$  ифодаи зеринро ҳосил намуд:

$$w = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (4.6)$$

Дар кристал осцилятор сеченака мебошад ва барои як мол модда ифодаи зерин ҷой дорад:

$$W = 3N_A w = \frac{3N_A h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (4.7)$$

Ифодаи (4.7)-ро дифференсиронида, барои гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳти кристалӣ барои  $C_V$  таносуби зеринро ҳосил менамоем:

$$C_V = \frac{dW}{dT} = 3N_A \frac{h^2 \nu^2}{kT^2} \frac{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} = 3R \left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 \frac{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}{\left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1\right]^2} \quad (4.8)$$

Температураи тавсифии Эйнштейнро дохил менамоем:  $\theta = \frac{h\nu}{k}$ . Ба формулаи (4.8) гузошта ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$C_V = 3R \left(\frac{\theta}{T}\right)^2 \frac{\exp\left(\frac{\theta}{T}\right)}{\left[\exp\left(\frac{\theta}{T}\right) - 1\right]^2} \quad (4.9)$$

Барои температураҳои баланд  $T \gg \theta$  мешавад ва  $C_V \rightarrow 3R$ , яъне қонуни Дюлонг ва Пти ҳосил мешавад. Дар ҷадвали 4.6 қиматҳои бузургии  $\theta$  барои баъзе моддаҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 4.6

Модда	Алмос	Be	CaF <sub>2</sub>	Fe	W	Zn	Ag	Hg
$\theta$ , К	2273	1000	474	420	310	250	215	96

Аз ҷадвали 4.6 дида мешавад, ки температураҳои тавсифии Эйнштейн  $\theta$  барои алмос ва бериллий аз температураи муътадил хеле баландтар ҷойгиранд. Яъне, температураи ҳонагӣ барои ин моддаҳо паст ба ҳисоб меравад. Барои ҳисоби гармиғунҷоиш формулаи Эйнштейн (4.9)-ро истифода бурдан лозим аст, на қонуни Дюлонг – Пти (4.5) –ро.

Муқоисаи формулаи (4.9) бо натиҷаҳои таҷрибаҳо (расми 4.14) нишон медиҳад, ки назарияи Эйнштейн вобастагии гармиғунҷоишро ба температура сифатан дуруст инъикос мекунад, вале дар температураҳои ниҳоят паст миқдоран фарқи калон дорад.

Назарияи квантии мукаммали гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳти кристалро Дебай пешниҳод кардааст. Дебай чунин пиндошт, ки лапиши атомҳо дар панҷараи кристалӣ ба лапиши ҳамдигарашон вобаста мебошад. Лапиши коллективонаи атомҳо дар температураҳои ниҳоят паст аёнтар ифода мегардад ва бо баландшавии температура онҳо новобаста мешаванд. Дар температураҳои ниҳоят баланд назарияҳои Эйнштейну Дебай ба ҳамдигар хуб мувофиқат мекунанд. Дебай ба эътибор гирифт, ки лапиши атомҳо дар



кристал паҳншавии се мавҷи чандирро (як тулӣ ва ду арзӣ) ба вучуд меорад. Басомадҳои лапиш квантонида шуда маҷмӯи қиматҳои дискретиро мегиранд. Дар ин маврид дарозии минималии мавҷ бо масофаи байни атомҳои ҳамсоя дар кристал муайян мешавад. Температураи тавсифии Дебай басомади максималии лапишро муайян мекунад:

$$\theta_D = hv_{max}/k. \quad (4.10)$$

Ҷадвали 4.7 Температураи Дебай барои баъзе металлҳо

Алюминий	429 К	Нукра	225 К	NaCl	280 К
Кадмий	186 К	Тантал	240 К	Сурб	96 К
Хром	610 К	Қалъагӣ (сафед)	195 К	Манган	476 К
Мис	344.5 К	Титан	420 К	Никел	440 К
Тилло	165 К	Волфрам	405 К	Платина	240 К
Оҳан	464 К	Рух	300 К	Ях	192 К
Силитсий	640 К	Алмос	2200 К	KBr	180 К

Дар модели Дебай панҷараи кристалӣ ҳамчун системаи пайвасти атомҳои ба ҳам таъсировар муоина мешавад. Лапиши чунин система натиҷаи ҷамъи лапишҳои гармоникӣ дорой басомадҳои гуногун мебошад. Гармиғунҷоиши молӣ мувофиқи назарияи Дебай бо таносуби зерин муайян карда мешавад:

$$C_V = 9N_A k \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\infty} \frac{e^{-x} x^4 dx}{(e^x - 1)^2}, \quad (4.11)$$

ки ин ҷо  $x_m = hv_{max}/kT = \theta_D/T$ ,  $v_{max}$ —худуди болоии басомадҳои имконпазири лапиш мебошанд.

Назарияи Дебай натиҷаҳои таҷрибавӣ вобастагии гармиғунҷоишро ба температура пурра шарҳ медиҳад. Дар температураҳои ниҳоят паст  $T \ll \theta_D$  барои гармиғунҷоиш формулаи зерин ҳосил мешавад:

$$C_V = \frac{12}{5} \pi^2 R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3. \quad (4.12)$$

Функсияи Дебай  $D(T/\theta_D)$  ва гармиғунҷоиши ҷисми сахт мувофиқи назарияи Дебай:

$$D(T/\theta_D) = 3 \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{y^3}{e^y - 1} dy, \quad C_V/3R = 4D \left( \frac{T}{\theta_D} \right) - \frac{3\theta_D/T}{e^{\theta_D/T} - 1}$$

дар ҷадвали 4.8 оварда шудаанд. Бузургии температураи Дебайро ба назар гирифта, аз ин ҷадвал гармиғунҷоишро ҳангоми доимӣ будани ҳаҷмро ҳисоб кардан мумкин аст.

Ҷадвали 4.8

$T/\theta_D$	$D(T/\theta_D)$	$C_V/3R$	$T/\theta_D$	$D(T/\theta_D)$	$C_V/3R$
0,001	$1.94818182 \cdot 10^{-8}$	0	0.56	0.48407895	0.85708184
0.01	$1.94818182 \cdot 10^{-5}$	$7.79272728 \cdot 10^{-5}$	0.6	0.50951959	0.87379577
0.02	$1.5585455 \cdot 10^{-4}$	$6.2341818 \cdot 10^{-4}$	0.64	0.53273771	0.88782389
0.04	$1.2468363 \cdot 10^{-3}$	$4.9873442 \cdot 10^{-3}$	0.68	0.55398377	0.89969536

0.06	4.2078642 10 <sup>-3</sup>	1.6828568 10 <sup>-2</sup>	0.72	0.57347847	0.90981932
0.08	9.9603641 10 <sup>-3</sup>	3.9701706 10 <sup>-2</sup>	0.76	0.59141512	0.91851494
0.1	1.9295766 10 <sup>-2</sup>	7.5821003 10 <sup>-2</sup>	0.8	0.60796253	0.92603343
0.12	3.2613990 10 <sup>-2</sup>	0.12444528	0.84	0.62326804	0.93257426
0.14	4.9771527 10 <sup>-2</sup>	0.18213363	0.88	0.63746031	0.93829715
0.16	7.0187257 10 <sup>-2</sup>	0.24448300	0.92	0.65065190	0.94333100
0.18	9.3067251 10 <sup>-2</sup>	0.30758695	0.96	0.66294143	0.94778070
0.2	0.11759741	0.36863482	1	0.67441556	0.95173214
0.22	0.14305536	0.42591362	1.1	0.70001279	0.95986696
0.24	0.16885445	0.47856769	1.2	0.72193881	0.96612085
0.26	0.19454680	0.52632537	1.4	0.75749956	0.97494742
0.28	0.21980708	0.56927456	1.6	0.78506608	0.98073798
0.3	0.24440997	0.60770279	1.8	0.80704239	0.98473640
0.32	0.26820781	0.64199278	2	0.82496297	0.98761075
0.34	0.29111139	0.67255830	2.5	0.85798481	0.99204549
0.36	0.31307425	0.69980740	3	0.88054822	0.99446641
0.38	0.33408057	0.72412280	4	0.90937268	0.99688196
0.4	0.35413604	0.74585297	5	0.92699905	0.99800285
0.42	0.37326092	0.76530930	6	0.93888843	0.99861249
0.44	0.39148515	0.78276685	7	0.94744873	0.99898033
0.46	0.40884467	0.79846673	8	0.95390610	0.99921919
0.48	0.42537881	0.81261940	9	0.95895053	0.99938299
0.5	0.44112847	0.82540804	10	0.96299994	0.99950018
0.52	0.45613485	0.83699197	50	0.99252000	0.99998000

Дебай ба таври назариявӣ асоснок намуд, ки дар температураҳои ба сифри мутлақ наздик энергияи дохилии ҷисми кристалӣ  $U$  ба дараҷаи чоруми температура мутаносиб аст:

$$U = \alpha T^4.$$

Ин ҷо  $\alpha$  -бузургии доимӣ аст. Мувофиқ ба ин қонуни гармиғунҷоиши ҷисми сахт дар температураҳои ниҳоят паст пешниҳод шуд, ки онро қонуни кубии Дебай меноманд:

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 4\alpha T^3$$

Барои баҳодихии тақрибӣ  $C_p = C_V(1 + 10^{-4}T)$  қабул намудан мумкин аст.

Фарқи  $C_p$  ва  $C_V$  бо формулаи термодинамикии:

$$\Delta C = C_p - C_V = 9T \frac{M \alpha^2}{\rho \chi}$$

ҳисоб меёбад, ки ин ҷо  $\alpha$  - коэффисиенти васеъшавии хаттӣ,  $\chi$  - фишурдашавии изотермӣ,  $M$  - массаи молӣ,  $\rho$  - зичӣ мебошад. Ба сифати намуна дар ҷадвалҳои 4.9 - 4.11 гармиғунҷоишҳои мис, алюминий ва руҳро, ки мувофиқи назарияи Дебай бузургии  $C_V$  ҳисоб ёфтаанд, гармиғунҷоиши электронӣ  $C_e = \gamma T$ ,  $\Delta C$  ва бузургии таҷрибавии  $C$  дар температураҳои гуногун оварда шудаанд. Ҳангоми ҳисоби  $\Delta C$  вобастагии  $\alpha$ ,  $\chi$ ,  $\rho$  ба температура ба назар гирифта нашудааст. Аз ин натиҷаҳо бармеояд, ки бузургии аз



таҷриба муайян кардашудаи  $C$  натавҷо энергияи лапишҳои панҷараро, балки энергияи ангиши ҳароратии электронҳо  $C_3$  ва энергияи васеъшавии ҳароратиро  $\Delta C$  низ дарбар мегирад. Хамин тавр,  $C = C_v + C_3 + \Delta C$ .

Ҷадвали 4.9

Функсияи гармиғунҷоиши Дебай барои  $\text{Cu}$ .  $\theta_D = 318\text{K}$ ,  $M = 63,5 \cdot 10^{-3}$  кг/мол

T, K	$C_v$ , Ҷ/(кг·К)	$C_e$ , Ҷ/(кг·К)	$\Delta C = C_p - C_v$ , Ҷ/(кг·К)	$C_v + C_e + \Delta C$ , Ҷ/(кг·К)	$C_{\text{таҷ.}}$ , Ҷ/(кг·К)	$C_{\text{таҷ.}} - C$ , Ҷ/(кг·К)
795	389,18	9,14	37,92	436,24	431	-5,24
707	388,36	8,13	33,20	429,69	424	-5,69
636	387,44	7,31	29,50	424,25	419	-5,25
578,2	386,43	6,65	26,49	419,57	414	-5,57
530	385,33	6,09	24,10	415,52	411	-4,52
489,2	384,14	5,63	22,03	411,8	407	-4,8
454,3	382,85	5,22	20,31	408,38	404	-4,38
424	381,48	4,88	18,81	405,17	401	-4,17
397,5	380,03	4,57	17,05	401,65	398	-3,65
374,1	378,48	4,30	16,34	399,12	395	-4,12
353,3	376,86	4,06	15,37	396,29	393	-3,29
334,7	375,15	3,85	14,45	393,45	390	-3,45
318	373,36	3,66	13,65	390,67	388	-1,33
302,9	371,50	3,48	12,87	387,85	384	-3,85

Ҷадвали 4.10

Функсияи гармиғунҷоиши Дебай барои  $\text{Al}$ .  $\theta_D = 386\text{K}$ ,  $M = 27 \cdot 10^{-3}$  кг/мол

T, K	$C_v$ , Ҷ/(кг·К)	$C_e$ , Ҷ/(кг·К)	$\Delta C = C_p - C_v$ , Ҷ/(кг·К)	$C_v + C_e + \Delta C$ , Ҷ/(кг·К)	$C_{\text{таҷ.}}$ , Ҷ/(кг·К)	$C_{\text{таҷ.}} - C$ , Ҷ/(кг·К)
857,78	914,71	45,03	157,31	1117,05	1186	68,95
772,00	912,55	40,53	134,04	1087,12	1124	36,88
701,82	910,17	36,84	117,29	1064,30	1081	16,70
643,33	907,58	33,77	104,54	1045,89	1051	5,11
593,85	904,77	31,18	94,39	1030,34	1028	-2,34
551,42	901,75	28,95	86,01	1016,71	1009	-7,71
514,67	898,52	27,02	79,09	1004,63	994	-10,63
482,50	895,09	25,33	73,18	993,60	981	-12,60
454,12	891,46	23,84	68,03	983,33	969	-14,33
428,89	887,63	22,52	63,60	973,75	959	-14,75
406,32	883,61	21,33	59,68	964,62	950	-14,62
386,00	879,40	20,26	56,16	955,82	941	-14,82

367,62	875,00	19,30	53,03	947,33	933	-14,33
350,91	870,43	18,42	50,24	939,09	926	-13,09
335,65	865,67	17,62	47,74	931,03	920	-11,03
321,67	860,75	16,89	45,41	919,73	913	-6,73
308,80	856,65	16,21	43,30	916,16	907	-9,16
293,93	850,40	15,43	40,90	906,73	900	-6,73

Ҷадвали 4.11

Функсияи гармиғунҷоиши Дебай барои Zn ( $\theta_D = 213$  К).

T, К	$C_V$ , Ҷ/(кг. К)	$C_e$ , Ҷ/(кг. К)	$\Delta C = C_P - C_V$ , Ҷ/(кг. К)	$C_V + C_e + \Delta C$ Ҷ/(кг. К)	$C_{экс.}$ , Ҷ/(кг. К)	$C_{таҷ.} - C$ , Ҷ/(кг. К)
608,57	379,04	6,27	25,156	410,47	442	31,53
532,50	378,34	5,48	18,190	401,92	424	22,08
473,33	377,54	4,87	15,633	398,04	412	13,96
426,00	376,64	4,39	13,829	394,86	405	10,14
387,27	375,66	4,00	12,386	392,05	399	6,95
355,00	374,59	3,35	11,268	389,51	396	6,49
327,69	373,43	3,37	10,297	387,1	392	4,9
304,28	372,19	3,13	9,488	384,81	389	4,19
284,00	370,85	2,92	8,768	382,54	385	2,46

Аз температураи Дебай боло вобастагии гармиғунҷоиш аз температура чунин ифода мешавад:

$$C = A + B\beta T + C\gamma_e T + \frac{D}{T^2} \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) + C_t + C_m, \quad (4.12)$$

ки ин ҷо  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  – доимихо; доимии  $A$  ба бузургии  $3R/M$  наздик аст,  $E$  – энергияи бавучудоии вакансияҳо;  $\gamma_e$  хаттӣ бо сахми ангармоникӣ ва гармиғунҷоиши электронӣ вобаста аст,  $\gamma_e$  экспоненсиалӣ ба сахми вакансияҳои ҳароратии мувозинатӣ вобаста аст ва онро дар наздикии нуқтаи гудозиш ба назар гирифта лозим меояд; сахми  $C_t$  ва  $C_m$  бо гузаришҳои магнитӣ, ё ки сохторӣ вобаста аст. Баназаргирии ангармонизми дараҷаҳои баландтар ба пайдошавии  $\gamma_e$  квадратӣ ва кубӣ меорад. Агар тағйироти зичии ҳолатҳои электрониро ба назар гирем,  $\gamma_e$  низ тағйир меёбад. Сахми ядрой ва сахм аз эффекти Шоттки танҳо дар температураҳои паст назаррас аст. Ҳангоми муҳокимаи ҳолатҳои температурашон назар ба температураи Дебай баландтар онҳоро ба назар нагирифта мумкин аст.

Муқоисаи формулаи (4.12) бо натиҷаҳои таҷрибаҳо нишон медиҳад, ки сахми бавучудоии вакансия, гузаришҳои сохторӣ ва магнитӣ ниҳоят кам аст.

Вобастагии таҷрибавии гармиғунҷоиши моеъҳо ва ҷисмҳои сахт ба температура чунин ифода меёбад:

$$C = a + bT + c'T^{-2} \quad \text{ё ки} \quad C = a + bT + cT^2 + dT^3.$$

Ин чо  $a, b, c, d$  – коэффитсиентҳое, ки дар таҷриба муайян карда мешаванд. Масалан, вобастагии гармиғунҷоиши хоси мис, алюминии маркаи А5N ва силитсий дар интервали температураҳои  $293 \div 873$  К ва руҳ дар интервали температураҳои  $293 \div 693$  К мувофиқан чунин аст:

$$\begin{aligned} C_p(T) &= 310,53 + 36 \cdot 10^{-2} T - 4 \cdot 10^{-4} T^2 + 2,2 \cdot 10^{-7} T^3; \\ C_p(T) &= 730,23 + 75,71 \cdot 10^{-2} T - 8 \cdot 10^{-4} T^2 + 5,97 \cdot 10^{-7} T^3; \\ C_p(T) &= 390,18 + 1,60 T - 18 \cdot 10^{-4} T^2 + 7,24 \cdot 10^{-7} T^3; \\ C_p(T) &= 325,44 + 36,9 \cdot 10^{-2} T - 7 \cdot 10^{-4} T^2 + 7,6 \cdot 10^{-7} T^3. \end{aligned}$$

Агар намуди робита ва структураи кристалии пайвастагӣ аз ин хосиятҳои ташкилдихандаҳояш бисёр фарқ накунад, гармиғунҷоиши онро мувофиқи қоидаи Нейман – Копп (қоидаи аддитивнокӣ) муайян менамоянд. Гармиғунҷоиши молии пайвастагӣ ба суммаи гармиғунҷоишҳои ташкилдихандаҳояш баробар аст:  $C_p = x_1 C_1 + x_2 C_2$ . Ин чо  $x_1$  ва  $x_2$  – ҳиссаи массавии компонентҳо. Қоидаи Нейман – Копп барои аксарияти пайвастагиҳои интерметалӣ дар соҳаи аз температураи Дебай боло то саҳеҳии 6% иҷро мешавад. Он барои фазаҳои мобайнӣ ва хусусан, маҳлулҳои саҳт (агар энергияи бавучудоии онҳо, яъне энергияи робита кам бошад), хуб иҷро мешавад.

Гармиғунҷоиши молии пайвастагиҳои химиявӣ дар ҳолати саҳтӣ ба суммаи гармиғунҷоишҳои молии элементҳои таркибаш баробар аст:

$$c_p(A_x B_y) = x c_p(A) + y c_p(B).$$

Ин қоидаро барои муайян кардани тақрибии гармиғунҷоиши ҳулаҳо истифода бурдан мумкин аст:

$$c_{\text{хула}} = \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2 + \dots + \omega_n c_n = \sum_{i=1}^n \omega_i c_i.$$

Ин чо  $\omega_i, c_i$  – мувофиқан ҳиссаи массавӣ ва гармиғунҷоиши хоси компонентҳои ҳула мебошанд.

Гармиғунҷоиши молии баъзе элементҳо дар чадвали зерин оварда шудаанд:

Элемент	C	H	B	Si	O	F	P	S
$C_p, \text{Ҷ}/(\text{мол}\cdot\text{К})$	7,6	9,6	11,3	15,9	16,8	21,0	22,6	22,6

#### 4.5. Энергияи потенциалии ҳамтаъсирот дар кристалҳои ионӣ

Ионҳоро дар кристал ҳамчун сақоҳои деформатсиянашаванда бо зарядҳои  $q_1 = z_1 e$  ва  $q_2 = -z_2 e$  пиндошта метавонем, ки ин чо  $z_1$  ва  $z_2$  – заряди ионҳо,  $e$  – бузургии заряди электрон аст. Барои мисол, дар кристали ионии  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$  заряднокӣ  $z_1 = z_2 = 1$ , барои кристали  $\text{Ca}^{2+} \text{O}^{2-}$  заряднокӣ  $z_1 = z_2 = 2$ .

Қувваи ҷозибаи байни ионҳоро қонуни Кулон муайян мекунад:

$$F = -\frac{z_1 z_2 e^2}{r^2} \quad (4.13)$$

Энергияи потенциалии ҷазбшавии ду иони аломаташон гуногун

$$E_p = \int_r^\infty F \, dr = -z_1 z_2 e^2 \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = -\frac{z_1 z_2 e^2}{r}. \quad (4.14)$$

Энергияи потенциалии теладиҳиро, ки сахмгузораи абрҳои электро-  
нии ионҳо мебошанд, ба намуди зерин ифода мекунем:

$$E_p^{\text{тела}} = \frac{A}{r^n}. \quad (4.15)$$

Ин ҷо  $A = \text{const}$  ва бузургии  $n$  (коэффисиенти теладиҳии Борнӣ) аз як  
хело калон аст, чунки қувваҳои теладиҳӣ ба қадри аз ҳам дурравӣ ниҳоят  
тез кам мешаванд. Қувваи теладиҳиро бо формулаи зерин меёбем:

$$F_{\text{тела}} = -\frac{dE_p^{\text{тела}}}{dr} = \frac{nA}{r^{n+1}} \quad (4.16)$$

Дар масофаи мувозинатии  $r_0$  қувваҳои ҷазмба ва теладиҳӣ баробар  
мешаванд:

$$\frac{nA}{r_0^{n+1}} = \frac{z_1 z_2 e^2}{r_0^2}. \quad (4.17)$$

Аз ин ҷо доимии  $A$ -ро муайян мекунем:

$$A = \frac{z_1 z_2 e^2}{n} r_0^{n-1}. \quad (4.18)$$

Аз ифодаҳои (4.18) ва (4.15) мавриди  $r = r_0$  ҳосил мекунем:

$$E_{p_0}^{\text{тела}} = \frac{z_1 z_2 e^2}{n r_0}. \quad (4.19)$$

Энергияи пурраи таъсири мутақобилаи ду ион (молекулаҳои ионӣ) чу-  
нин мешавад:

$$E_p = E_p + E_{p_0}^{\text{тела}} = -\frac{z_1 z_2 e^2}{r} + \frac{A}{r^n}. \quad (4.20)$$

Аз ифодаи охирин ҳангоми  $r = r_0$  будан формулаи маъмули Борнро ҳосил  
менамоем, ки тавассути бузургии энергияи потенциалии минималии таъси-  
ри мутақобилаи молекулаҳои иониро муайян кардан имконпазир мешавад:

$$E_{p_0} = -\frac{z_1 z_2 e^2}{r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right). \quad (4.21)$$

Барои ҳисоб намудани энергияи потенциалии ҳамтаъсироти ионҳо дар кри-  
стал ба назар гирифтани лозим аст, ки ҳар як ион на танҳо бо як иони заря-  
даш муқобил, балки бо адади зиёди ионҳои мусбату манфии дар масофаҳои  
гуногун аз иони интиҳобкарда ҷойгирбуда таъсир менамояд. Бо усули  
ҳисоби ин энергия дар мисоли кристали ионии NaCl шинос мешавем. Иони  
натрийро, ки дар марказ ҷойгир аст, ба эътибор мегирем. Ин ион дар ма-  
софаи  $r$  ба ҳамсои наздик - ионҳои хлор дорад. Энергияи натиҷавии ҳам-  
таъсироти кулонӣ бо ин ионҳо, мувофиқи формулаи (4.13) бо формулаи  
зерин муайян карда мешавад:

$$E_{p_1} = -\frac{6e^2}{r}. \quad (4.22)$$

Азбаски структураи панҷараи NaCl кубӣ аст, дар масофаи  $\sqrt{2}r$  аз иони  
интиҳобкарда боз 12 иони натрий ҷойгир аст, ки энергияи натиҷавии  
таъсирот бо онҳо чунин аст:

$$E_{p_2} = -\frac{12e^2}{\sqrt{2}r} \quad (4.23)$$

Дуртар дар масофаи  $r\sqrt{3}$  аз он ион 8 иони хлор ҷойгиранд ва сахми онҳо дар энергияи таъсири мутақобила ба:

$$E_{p_3} = -\frac{8e^2}{r\sqrt{3}}. \quad (4.24)$$

баробар аст.

Саҳми аъзои оянда аз ин ҳам хурдтар аст. Дар натиҷа, энергияи ҳамтаъсириоти иони интихобкарда бо дигар ионҳо дар панчара ба:

$$E'_p = E_{p_1} + E_{p_2} + E_{p_3} + \dots = \frac{e^2}{r} \left( -6 + \frac{12}{\sqrt{2}} - \frac{8}{\sqrt{3}} + \dots \right).$$

ё

$$E'_p = 1,7475 \cdot \frac{e^2}{r}. \quad (4.25)$$

баробар мешавад.

Кoeffисиенти  $a = 1,7475$  доимии Маделунг номида мешавад, ки он бузургии таъсириоти иони интихобкардаамонро бо ҳамсоҷҳои наздикаш дар панчара муайян менамояд. Бо дар назардошти ин ҳамтаъсирот энергияи потенциалии як мол зарраҳои кристалро ба намуди зерин пешниҳод карда метавонем:

$$E_p = -aN_A \frac{z_1 z_2 e^2}{r} + N_A \frac{A}{r^n}. \quad (4.26)$$

Тарзи ҳисоби коэффисиенти Маделунгро дар мисоли кристали NaCl нишон медиҳем. Барои ин, аввал коэффисиенти теладиҳии борнӣ  $n$ -ро, ки дар ифодаи (4.26) ҷой дорад, аз бузургии таҷрибавии фишурдашавии изотермии кристалҳо меёбем:

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_T. \quad (4.27)$$

Дар температураи сифри мутлақ, хангоми набудани ҳаракати ҳароратии зарраҳои кристал энтропия доимӣ аст. Аз ин сабаб аз айнияти асосии термодинамикии

$$TdS = dU + PdV = 0 \quad (4.28)$$

бузургии фишорро меёбем:

$$P = -\frac{dU}{dV}. \quad (4.29)$$

Азбаски энергияи дохилии кристал:

$$U = E_k + E_p,$$

мебошад, аз ин рӯ:

$$dU = dE_k + dE_p = dE_p, \quad (4.30)$$

ҳисоб карда метавонем, чунки дар мавриди набудани ҳаракати ҳароратии зарраҳо  $dE_k = 0$  аст.

Пас, (4.30)-ро ба (4.29) гузошта, дифференсиронида таносуби зеринро ҳосил менамоем:

$$\frac{dP}{dV} = -\frac{d^2 E_p}{dV^2}. \quad (4.31)$$

Ҳангоми фишурдани кристал ионҳо ба ҳам наздик мешаванду  $r$ , ки ба муодилаи (4.26) дохил аст, кам мешавад. Ҳаҷми як моли кристал ба дараҷаи сеюми масофаи байни ионҳо  $r$  мутаносиб аст, яъне:

$$V = \delta r^3. \quad (4.32)$$

Агар навъи структураи кристал маълум бошад коэффисиенти мутаносибиро аз таносубҳои геометрӣ ёфтан мумкин аст. Барои кристалҳои намуди NaCl  $\delta = 2N_A$ , ки ин ҷо  $N_A$  – адади Авогадро мебошад.

Таносубҳои (4.26-4.27) ва (4.31–4.32)-ро истифода бурда барои кристалҳои намуди NaCl коэффисиенти теладиҳии борнӣ  $n$ -ро ёфта метавонем:

$$n = 1 + \frac{18r_0^4}{\chi a e^2}. \quad (4.33)$$

Агар  $\chi$ ,  $r_0$  ва коэффисиенти Маделунг  $a$  маълум бошанд, аз ин формула бузургии  $n$ -ро ҳисоб кардан мумкин аст. Дар ҷадвали 4.12 бузургии коэффисиенти Маделунг барои баъзе навъҳои панҷараи кристалӣ оварда шудааст.

Ҷадвали 4.12

Коэффисиенти Маделунг  $a$  барои баъзе навъҳои панҷараи кристалӣ

Намуди структурӣ	Формула	Адади координатсионӣ	$a$
Хлориди натрий	NaCl	Na 6; Cl 6	1,7475
Хлориди сезий	CsCl	Cs 8; Cl 8	1,763
Сфалерит	ZnS	Zn 4; S 4	1,638
Фториди калсий	CaF <sub>2</sub>	Ca 8; F 4	2,52
Рутил	TiO <sub>2</sub>	Ti 6; O 3	2,408

Дар ҷадвали 4.13 бузургиҳои  $n$  барои баъзе металҳо сабт ёфтаанд, ки тавассути бузургии зариви фишурдашавии дар таҷриба ченшуда ҳисоб карда шудаанд.

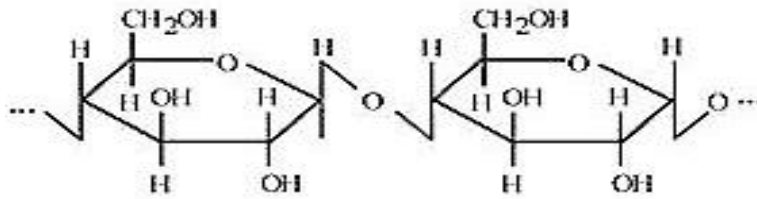
Ҷадвали 4.13

Кристал	LiF	LiCl	NaCl	NaBr
$n$	5,9	8,0	9,1	9,5

#### 4.6. Полимерҳо

Моддаҳое, ки молекулаҳояшон (макромолекулаҳо) аз миқдори зиёди звено (ҳалқабанд)-ҳои мономерии такроршаванда таркиб ёфтаанд, полимерҳо (аз юнонии polymers - бисёрчӯзба) меноманд. Массай молекулавии полимерҳо аз якчанд ҳазор то миллионҳо мерасад. Полимерҳо табиӣ,

сунъй ва тавлифӣ (синтезӣ) мешаванд. Ба полимерҳои табиӣ сафедаҳо, кислотаҳои нуклеинӣ, каучуки табиӣ, крахмал, селлюлоза, гликоген, лагнин ва ғайраҳо тааллуқ доранд.

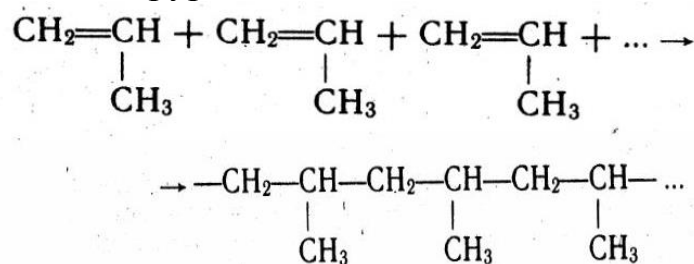


Формулаи структураии селлюлоза

Полимерҳои сунъӣ дар натиҷаи коркарди химиявии полимерҳои табиӣ (пӯст, нитратҳои селлюлоза ва ғ.) ҳосил мешаванд. Полистирол, полиметилметакрилат, полиэтилен, полипропилен, полиамидҳо, полиэфирҳо, полиуретанҳо ва ғ. ба гурӯҳи полимерҳои синтезӣ мансубанд.

Полимерҳое, ки молекулаҳояшон аз мономерҳои якхела ташкил ёфтаанд, гомополимерҳо ва полимерҳое, ки аз мономерҳои гуногун таркиб ёфтаанд, сополимерҳо ном доранд. Полимерҳо асосан зимни реаксияҳои полимеризатсия ва поликонденсатсия ҳосил мешаванд.

Протсеси синтези полимерҳо, ки зимни он аз ҳамтаъсири молекулаҳои мономер (ё мономерҳо) пайвастиҳои калонмолекулавӣ (полимер) бо роҳи бисёрқарата пайвасшавии моддаҳои хурдмолекулавӣ (мономер, олигомер) ба марказҳои фаъол дар молекулаи афзояндаи полимер ташаккул меёбанд, полимеризатсия (аз юнонии  $\text{πολυμερής}$  – аз қисмҳои зиёд иборат) меноманд. Полимеризатсия бефосила ва зина ба зина мегузарад. Полимеризатсияи бефосила бо ташаккул ва иштироки радикалҳои озод (полимеризатсияи радикалӣ) ё ионҳо (полимеризатсияи ионӣ) ба амал меояд. Дар полимеризатсияи зинавӣ реаксия бо афзудани массаи молекулавии полимер дар чандин марҳила тадриҷан мегузарад. Схемаи умумии рафти полимеризатсия чунин аст:  $nM \rightarrow (-M-)_n \rightarrow$  макромолекула. Боқимондаи мономерҳои таркиби полимер звеноҳои содда (ё мономерӣ) ном доранд. Протсеси полимеризатсия аз се марҳила иборат аст: 1) ташаккули маркази фаъол; 2) инкишофи силсилаи полимерӣ; 3) қатъи силсила. Полимеризатсияи зинавӣ бо истифодаи мономерҳое мегузарад, ки якешон донори гурӯҳ ё атомҳои фаъолу дигарашон қабулкунандаи (аксептори) онҳо мебошанд. Баъди ҳар як зина (силсила) дарозии занҷир меафзояд ва барои ҳосил шудани макромолекула вақти муайян ва таносуби баробари гурӯҳҳои функционалӣ зарур мебошад.



Вобаста ба таркиби занҷири асосӣ полимерҳо гетерозанҷир (дар занҷирашон атомҳои гуногун (C, N, Si, P) мавҷуданд) ва гомозанҷир (занҷирашон аз атомҳои якхела, асосан карбон иборатанд) мешаванд. Ба полимерҳои гетерозанҷирӣ полиэфирҳо, полиамидҳо, қатронҳои фенолу формалдегидӣ, сафедаҳо ва ба полимерҳои гомозанҷир полиэтилен, полиметилметакрилат, политетрафторэтилен ва ғайраҳо мансубанд. Полимерҳо, ки дар молекулашон илова ба гурӯҳҳои карбогидридӣ атомҳои элементҳои ғайриорганикӣ низ доранд, полимерҳои элементорганикӣ номида мешаванд.

Полимерҳоро мувофиқи структураи занҷири макромолекулаҳошон ба полимерҳои хаттӣ (дар ин маврид узвҳои структура паи ҳам ба силсилаи дароз пайванд шудаанд, полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полиметилметакрилат (ПММА), поливинилхлорид (ПВХ) ҳамин гуна сохт доранд), шохадор (крахмал) ва фазогӣ чудо мекунанд. Полимерҳои шохадор гуфта полимерҳоеро мефаҳманд, ки макромолекулаҳошон аз занҷири асосӣ ва занҷирҳои шохаҳои канорӣ иборатанд, ки бо занҷири асосӣ ба таври химиявӣ пайваست шудаанд. Полимерҳои фазогӣ системаҳои мебошанд, ки аз макромолекулаҳои хаттии байниҳам бо робитаҳои химиявӣ пайвастшуда ташкил ёфтаанд, ки онро одатан тури фазогӣ меноманд. Чунин системаҳо вобаста ба зичии пайвастшавии химиявии байнимолекулавӣ (зичии тур) чандириятнокиҳои гуногунро (аз резинаҳои мулоим саркарда то эбонити сахт) зоҳир менамоянд.

Полимерҳо аз диди ҳолатҳои фазавӣ аморфӣ ва аморфӣ-кристалӣ буда метавонанд. Полимерҳои аморфӣ дорой ягон ҳел структураи мураттаби дохилӣ нестанд ва макромолекулаҳошон дар фазои ҳаҷми додашуда комилан бетартибона ҷойгир мебошанд. Полимерҳои аморфӣ-кристалӣ ё кристалӣ системаҳои мебошанд, ки аз соҳаҳои такроршавандаи аморфӣ ва мураттаби кристалӣ (кристалитҳо) иборатанд. Бояд қайд намуд, ки дар сарҳади ҷудоии соҳаҳо ҳамон як макромолекула метавонад ҳам ба соҳаи аморфӣ дохил бошад, ҳам ба соҳаи кристалии полимер.

Полимерҳои аморфӣ дар се ҳолати физикавӣ вучуд дошта метавонанд: шишамонанд, фавқулчандир ва ғализ. Вобаста ба таркиби химиявӣ, сохт ва ҷойгиршавии гурӯҳҳои функционалӣ хосиятҳои физикавӣю химиявии макромолекулаҳо гуногун буда метавонанд. Полимерҳо дар реаксияҳои зерин иштирок карда метавонанд: 1) байни макромолекулаҳо, ба амал омадани бандҳои химиявӣ («дӯхташавии» макромолекулаҳо), масалан, ҳангоми вулканизатсияи каучукҳо; 2) ба ҳиссаҳои нисбатан хурд ҷудо гардидани макромолекулаҳо (вайроншавӣ ё деструксия); 3) реаксияи гурӯҳҳои функционалии полимерҳо бо моддаҳои хурдмолекула; 4) реаксияи мутақобилаи гурӯҳҳои функционалии макромолекулаи алоҳида ва ғ.

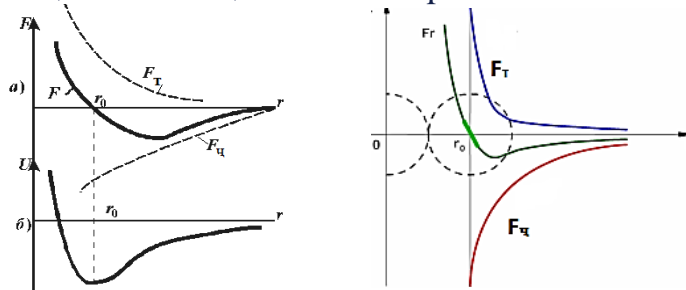
Бинобар хосиятҳои хуби механикӣ ва изолятсионӣ доштанишон полимерҳоро дар соҳаҳои гуногуни саноат ва рӯзгор васеъ истифода мебаранд. Аз онҳо пластмасса, резина, нах, рангубор, ширеш, қатрон истеҳсол менамоянд. Полимерҳои биологӣ асоси тамоми мавҷудоти зиндаро ташкил дода, дар аксар протсессҳои ҳаётӣ бевосита иштирок менамоянд.



Дар кафедраи физикаи ҷисмҳои сахт ва шӯъбаи муҳитҳои конденсии Институти илмӣ-тадқиқотии ДМТ муҳаққиқон вобастагии устувории полимерҳоро нисбат ба таъсири омилҳои берун (рӯшноӣ, радиатсия, фишор, температура, намнокӣ ва ғ) ҳаматарафа тадқиқ менамоянд ва ба дастоварҳои намоён низ ноил гаштаанд.

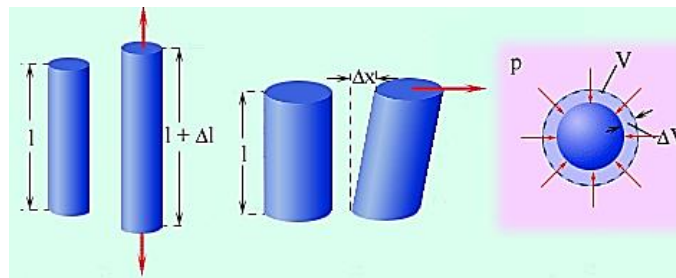
#### 4.7. Хосиятҳои механикӣ ва васеъшавии ҳароратии ҷисмҳои сахт

Дар ҷисмҳои сахти аморфӣ ва кристалӣ зарраҳо (молекулаҳо, атомҳо, ионҳо) дар наздикии ҳолати мувозинатӣ, ки энергияи таъсири мутақобилаи онҳо минималӣ аст, мелаппанд. Ҳангоми зиёд гардидани масофаи байни зарраҳо қувваҳои ҷозиба ба вучуд меоянду ҳангоми камшавии масофа қувваи теладиҳӣ (расми 4.15 а ва б). Қувваҳои ҳамтаъсири байни зарраҳо хосиятҳои механикӣ ҷисмҳои сахтро муайян менамоянд. Деформатсияи ҷисми сахт натиҷаи тағйир ёфтани мавқеи ҷойгиршавии нисбии зарраҳое мебошад, ки ҷисм аз онҳо ташкил ёфтааст.



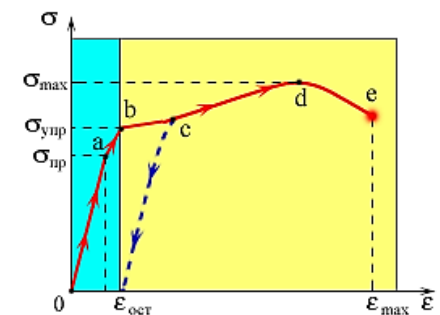
Расми 4.15

Якчанд намуди деформатсияи ҷисми сахт вучуд дорад, ки баъзеи онҳо дар расми 4.16 тасвир ёфтаанд.



Расми 4.16. Баъзе намудҳои деформатсияи ҷисмҳои сахт: 1 – деформатсияи ёзиш; 2-деформатсияи ғечиш; 3-деформатсияи фишурдашавии ҳаматарафа.

Дар расми 4.17 диаграммаи ёзиши маводи пластикӣ тасвир ёфтааст. Раҳи кабуд- соҳаи деформатсияи чандирӣ.



Расми 4.17. Диаграммаи ёзиши маводи пластикӣ.

Деформатсияҳои чандири фишурдашавӣ ва ёзишро дар монокристалҳо аз нуқтаи назари мавҷудияти панҷараи кристалӣ бо осонӣ маънидод кардан мумкин аст. Мувозинати панҷараи кристалро таъсири қувваҳои кашиш ва теладиҳии байниҳамии зарраҳои панҷара муайян менамояд. Масалан, ҳангоми фишурдашавии кристали ионӣ масофаи байни ионҳои ҳамсоя каму қувваҳои теладиҳӣ назар ба қувваҳои ҷозоба зиёд мешаванд ва қувваи натиҷавии теладиҳӣ ба вуҷуд меояд, ки ба муқобили қувваи берунаи фишороранда равона аст. Чӣ қадар ки ионҳо аз ҳолати мувозинатӣ дуртар раванд, яъне чӣ қадаре ки деформатсия зиёд бошад, ҳамон қадар қувваи теладиҳии зиёдтар ба вуҷуд меоянд. Ҳангоми қатъи таъсири қувваи беруна ионҳо ба ҳолати мувозинатии худ бармегарданд, панҷара шакли аввалаи худро мегирад. Ба ҳамин монанд ҳангоми ёзиши кристал масофаи байни ионҳои ҳамсоя дар панҷара меафзояду саҳми қувваи кашиш зиёд ва қувваи натиҷавӣ ба самти таъсири қувваи беруна муқобил равона мешавад.

Ҳангоми деформатсияи ғеҷиш моилшавии панҷара ба амал меояд. Масалан, панҷараи кубӣ ба шакли параллелипеди қачқунча мегузарад, яке аз диагоналҳо кӯтоҳ мешаваду дигаре дарозтар. Дар байни ионҳои наздикомада қувваи теладиҳӣ меафзояду дар байни ионҳои дуршуда қувваи кашиш. Панҷара бо таъсири ин қувваҳо барои барқарор намудани шакли ибтидоии худ кӯшиш менамояд, ки ин ба барқароршавии деформатсияи чандирии лағжиш сабаб мешавад. Деформатсияи лағжиш, инчунин, пайдошавии деформатсияҳои пластикӣ ва боқимондаро бо структураи панҷарагии кристалҳо фаҳмонидан мумкин аст.

Аз сабаби ҷойгиршавии ботартиби атомҳо (ионҳо) дар панҷараи фазогии кристал ҳамворихое мавҷуданд, ки қад-қади онҳо панҷараҳо нисбат ба якдигар чунон мекӯчанд, ки тарзи ҷойгирии ионҳои мусбату манфӣ мисли ҷойгиршавии ибтидоиашон мегардад ва қувваи онҳоро аз нав ба лағжиш маҷбур мекардагӣ барҳам меҳурад. Сабаби деформатсияи боқимонда дар монокристалҳо ҳангоми ёзиш дар рӯи ҳамворихои муайян лағжидани қисмҳои кристал мебошад.

Мустаҳкамии амалии кристалҳо назар ба мустаҳкамии назариявии онҳо даҳҳо ва садҳо маротиба хурдтар аст. Панҷараи кристалҳои воқеӣ аз идеалӣ фарқ мекунад. Дар панҷараи кристалҳои воқеӣ ҳамеша нуқсҳои дохилӣ мавҷуданд. Баъзан нуқсҳои на он қадар зиёде дар рӯяҳо

ва дохили панчара сабабгори вайроншавии нисбатан осонтари тамоми кристал мегарданд.

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки ҷисмҳои саҳти поликристалӣ нисбат ба ҷисмҳои монокристалӣ мустаҳкамтар мебошанд. Ҳар гуна тағйирёбии шакли кристалчаҳои алоҳида, ки аз онҳо ҷисми кристалӣ иборат аст, инчунин, тағйирёбии тарзи ҷойгиршавии кристалчаҳо нисбат ба якдигар хосиятҳои механикии ҷисми саҳтро кулан тағйир медиҳад. Бо таъсири прокат кардан кӯфтасозӣ, обутобдихӣ ва дигар навъҳои коркарди сард ва ҳароратии металл мустаҳкамӣ ва хосиятҳои механикии онро тағйир додан мумкин аст.

Дар ҷисмҳои саҳт дар як вақт байни атомҳо ҳам қувваи ҷозоба ва ҳам қувваи теладиҳӣ таъсир мекунанд ва ин қувваҳо ба масофаи байни атомҳо вобастаанд. Маълум аст, ки ҳангоми гармкунии ҷисми саҳт энергияи ҳаракати лапиши атомҳои он меафзояд. Қайд кардан зарур аст, ки афзоиши амплитудайи лапиши атомҳо на ҳамеша ба афзоиши масофаи байни онҳо оварда мерасонад. Агар лапиши атомҳо мутлақо гармоникӣ мебуд, он гоҳ масофаи байни атомҳо бо тағйирёбии амплитудайи лапиш тағйир намеёфт. Дар ин маврид ҳар як атом чи қадаре ки аз ҳамсояш дур равад, ҳамон қадар ба дигараш наздик мешавад. Дар асл атомҳо дар панҷараи кристалӣ лапиши ангармоникӣ (ғайригармоникӣ) мекунанд. Аз графикаи вобастагии қувваи таъсири мутақобилаи байни атомҳо ба масофаи байни онҳо (расми 4.15 в) дидан мумкин аст, ки дар масофаҳои калон ( $r > r_0$ ) байни онҳо қувваҳои ҷозоба дар масофаҳои хурд ( $r < r_0$ ) қувваҳои теладиҳӣ таъсир мекунанд ва он бо камшавии масофа зуд меафзояд. Ин ба он оварда мерасонад, ки ҳангоми афзудани амплитудайи лапиши атомҳо дар натиҷаи гармкунии ҷисми саҳт суръати афзоиши қувваҳои теладиҳӣ назар ба суръати афзоиши қувваҳои ҷозоба хеле зиёд аст. Яъне, агар атоми мазкур аз як ҳамсояш ба масофаи  $r_1$  дур равад, ба ҳамсояи дигараш ба масофаи  $r_2$  наздик мешавад ва айни ҳол  $r_1 \neq r_2$  аст. Ин ҳол ба зиёдшавии масофаи байни атомҳо оварда мерасонад, яъне андозаҳои ҷисм ҳангоми гармкунӣ меафзоянд. Аз ин ҷо бармеояд, ки сабаби аз гармӣ васеъшавии ҷисмҳои саҳт ин лапиши ғайригармоникии атомҳо дар панҷараи кристалӣ аст. Аз гармӣ васеъшавии ҷисмҳои саҳт бо коэффисиенти васеъшавии ҳаттӣ  $\alpha$  тавсиф меёбад:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T}.$$

Яъне, коэффисиенти васеъшавии ҳаттӣ ададан ба тағйироти нисбии дарозии ҷисми саҳт, ки ҳангоми ба  $1 \text{ K}$  тағйир ёфтани температураи он ба вучуд меояд, баробар аст.

### Намунаи ҳалли масъалаҳо

**4.1.** Ҳангоми гудозиши  $1 \text{ кмол}$  ях энтропия ба бузургии  $22,2 \text{ кҶ/К}$  тағйир меёбад. Агар фишори беруна ба бузургии  $100 \text{ кПа}$  афзояд, температураи обшавии ях чӣ қадар тағйир меёбад?

Дода шуда аст: Ҳал.

$v = 1$  кмол

$\Delta S = 22,2$  кҶ/К

$\Delta P = 100$  кПа

$\Delta T = ?$

Мувофиқи муодилаи Клаузиус-Клапейрон тағйироти температураи гудозиши модда ба:

$$\Delta T = \frac{\Delta P T (V_{об} - V_{ях})}{L}$$

баробар аст, ки ин ҷо  $L$ -гармии гудозиши як мол модда,  $V_{об}$  ва  $V_{ях}$  – мутобиқан ҳаҷмҳои хоси об ва ях мебошанд. Дар навбати худ тағйироти энтропия ба:

$$\Delta S = \frac{vL}{T}$$

баробар аст, аз ин ҷо:

$$\frac{T}{L} = \frac{v}{\Delta S}$$

Ифодаи охиринро ба муодилаи Клаузиус-Клапейрон гузошта, тағйироти температураро меёбем:

$$\Delta T = \frac{\Delta P v (V_{об} - V_{ях})}{\Delta S}$$

Ҷавоб: 0,009 К.

4.2. Дар фишори 100 кПа температураи гудозиши қалъагӣ 231,9 °С ва дар фишори 10 МПа ба қадри 232,2 °С аст. Зичии қалъагии моеъ  $7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> буданаширо ба эътибор гирифта тағйироти энтропияро ҳангоми гудохташавии 1 кмол қалъагӣ муайян намоед.

Маълумот:

$v = 1$  кмол

$P_1 = 100$  кПа

$T_1 = 504,9$  К

$P_2 = 10$  МПа

$T_2 = 505,2$  К

$\rho_M = 7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>

$\Delta S = ?$

Ҳал:  $\Delta T = \frac{\Delta P T (V_M - V_C)}{L}$ ;  $\Delta S = \frac{vL}{T}$ ;

$$\Delta S = \frac{\Delta P v (V_M - V_C)}{\Delta T} = \frac{(P_2 - P_1) v (V_M - V_C)}{(T_2 - T_1)}; V_C = \frac{M}{\rho_C}; V_M = \frac{M}{\rho_M}$$

$\Delta S = \frac{(P_2 - P_1) v M (\rho_C - \rho_M)}{(T_2 - T_1) \rho_C \rho_M}$ .  $\rho_M$  ва  $\rho_C$  – мувофиқан зичии

қалъагии моеъ ва саҳт мебошанд. Ҷавоб: 15,5 кҶ/К.

4.3. Қонуни Дюлонг ва Птиро истифода бурда гармигунҷоиши хоси мис, оҳан ва алюминийро муайян намоед.

Маълумот:

Ҳал:  $C_V = 3R = 25$  Ҷ/(мол К);  $c_v = C_V/M = 3R/M$ .

$M_1 = 63,55 \cdot 10^{-3}$  кг/мол

$M_2 = 55,84 \cdot 10^{-3}$  кг/мол

$M_3 = 26,98 \cdot 10^{-3}$  кг/мол

$c_v = ?$

Ҷавоб: 393 Ҷ/(кг К); 448 Ҷ/(кг К); 927 Ҷ/(кг К).

4.4. Қонуни Дюлонг ва Птиро истифода бурда аз кадом материал будани саққои металии массааш 0,025 кг-ро муайян намоед, агар барои аз 10 °С то 30 °С гарм кардани он 117 Ҷ микдори гармӣ сарф шуда бошад.

Маълумот:

Ҳал:

$m=0,025$  кг  
 $T_1=283$  К  
 $T_2=303$  К  
 $Q=117$  Ҷ  
 $M=?$

$$Q = mc(T_2 - T_1); C = 3R = cM; c = \frac{C}{M} = \frac{3R}{M};$$

$$Q = m \frac{3R}{M} (T_2 - T_1); M = \frac{3mR(T_2 - T_1)}{Q}.$$

Ҷавоб:  $M=0,107$  кг/мол, нукра.

**4.5.** Пластина (лавха)-ҳои мисин (ғафсиаш 9 мм) ва оҳанин (ғафсиаш 3 мм) болои ҳам гузошта шудаанд. Сатҳи берунии пластинаи мисин дар температураи 50 °С воқеъ аст, сатҳи пластинаи оҳанин бошад дар температураи 0 °С. Температураи сатҳи расиши онҳоро муайян намоед. Масоҳати пластинаҳо назар ба ғафсиашон ниҳоят калон мебошад.

Маълумот:

$$d_1=9 \text{ мм} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d_2=3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$T_1=323\text{К}$$

$$T_2 = 273 \text{ К}$$

$T=?$

Ҷал: Миқдори гармие, ки аз пластинаҳои мисин ва оҳанини болои ҳам буда мегузарад, бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$Q = \lambda_1 \frac{t_1 - t_x}{d_1} S\tau = \lambda_2 \frac{t_x - t_2}{d_2} S\tau,$$

$$\text{аз ин ҷо } t_x = \frac{\lambda_1 t_1 d_2 + \lambda_2 t_2 d_1}{\lambda_1 d_2 + \lambda_2 d_1}.$$

Ҷавоб:  $T=307,5$  К.

**4.6.** Энергияи лапиши сифрии ба як грамм мис мувофиқ меомадаро, ки барояш температураи Дебай 330 К аст, ҳисоб кунед.

Ҷал: Аз формулаи Дебай энергияи сифрии лапиши як мол кристал

$$U = \frac{9}{8} R\theta_D \text{ ва барои воҳиди масса } U = \frac{9}{8} \frac{R\theta_D}{M} = 48,6 \text{ Ҷ/г буданаш бармеояд.}$$

Ҷавоб: 48,6 Ҷ/г.

**4.7.** Басомади максималии лапишҳои хусусиро дар кристали оҳан муайян намоед, агар дар температураи 20 К гармиғунҷоиши хос 2,7 Ҷ/(кг К) бошад.  $T \ll \theta_D$  ҳисобед.

Ҷал: Гармиғунҷоиши лапишии моли кристал ҳангоми  $T \ll \theta_D$  будан

$$C = \frac{12}{5} \pi^4 R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3, \theta = \frac{\hbar \omega_{max}}{k} \text{ мебошад, аз ин рӯ:}$$

$$\omega_{max} = \frac{kT}{\hbar} \sqrt{\frac{12\pi^4 R}{5Mc}} = 6 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ аст.}$$

Ҷавоб:  $6 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$ .

**4.8.** Қонуни Дюлонг ва Птиро истифода бурда гармиғунҷоиши хоси натрий ва алюминийро муайян намоед.

Маълумот:

$$M_{\text{Na}} = 23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$M_{\text{Al}} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$c_{V \text{ Na}}=?$$

$$c_{V \text{ Al}}=?$$

$$\text{Ҷал: } c_V = \frac{C_V}{M}; C_V = 3R; c_V = \frac{3R}{M}.$$

Ҷавоб:  $c_{V \text{ Na}}=1,08$  кҶ/(кг К);  $c_{V \text{ Al}}=0,924$  кҶ/(кг К).

4.9. Доимии  $a$  ва масофаи байни атомҳои ҳамсояро дар кристали калсий (панчара-рӯямарказонидаи сингонияи кубӣ)-ро муайян кунед. Зичии кристалли Ca:  $1550 \text{ кг/м}^3$  мебошад.

Ҳал: Доимии  $a$  ба ҳаҷми ячейкаи элементарӣ вобаста аст:  $V = a^3 = \frac{V_0}{Z_0}$ .

Ҳаҷми як мол атоми калсий  $V_0 = \frac{A}{\rho}$ ; адади ячейкаҳои элементарӣ дар як мол атом  $Z_0 = \frac{N_A}{n}$ ,  $n$ -адади атомҳо дар як ячейка мебошанд.

$$a^3 = \frac{nA}{\rho N_A}; a = \sqrt[3]{\frac{nA}{\rho N_A}}$$

$n=4$ ,  $A=40 \text{ кг/атом}$ .  $a = 0,556 \text{ нм}$ ,  $d = \frac{a}{\sqrt{2}} = 0,393 \text{ нм}$ .

Ҷавоб:  $a = 0,556 \text{ нм}$ ,  $d = 0,393 \text{ нм}$ .

4.10. Миқдори гармиеро, ки барои ба қадри  $2 \text{ К}$  гарм кардани  $20 \text{ г}$  кристали NaCl лозим аст, ёбед. Ду ҳолатро муҳокима намоед: а) гармкунӣ аз температураи  $T_1 = \theta_D = 320 \text{ К}$  сар мешавад; б) гармкунӣ аз температураи  $T_1 = 2 \text{ К}$  сар мешавад.

Ҳал: Миқдори гармиеро, ки барои ҷисми массааш  $m$ -ро аз температураи  $T_1$  то  $T_2$  гарм кардан зарур аст:

$$\Delta Q = \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} C_m(T) dT.$$

Азбаски  $\Delta T \ll T$ , гармиғунҷоишро доимӣ ҳисобидан мумкин мебошад:

$$\Delta Q = \frac{m}{M} C_m(T_1) \Delta T.$$

Мувофиқи назарияи Дебай  $C_m(T_1)$ -ро меёбем:

$$C_m(T_1) = 3R \left[ 12 \left( \frac{T_1}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\frac{\theta_D}{T_1}} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left( \frac{\theta_D}{T_1} \right)}{e^{\frac{\theta_D}{T_1} - 1}} \right].$$

а) Ҳангоми  $T_1 = \theta_D$  будан

$\int_0^1 \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = 0,225$ , аз ин ҷо  $C_m(T_1) = 2,87 R$  ва

$$\Delta Q = 2,87 \frac{m}{M} R \Delta T = 16,3 \text{ Дж}.$$

б) Дар ин мавриди  $T \ll \theta_D$   $C_m = \frac{12\pi^4}{5} R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3$  мешавад ва

$$\Delta Q = \frac{12\pi^4}{5} \frac{m}{M} \frac{R}{\theta_D^3} \int_{T_1}^{T_1 + \Delta T} T^3 dT$$

мебошад. Баъди интегралӣ ифодаи зеринро ҳосил мекунем ( $\Delta T = T_1$ ):

$$\Delta Q = 9\pi^4 \frac{m}{M} \frac{R T_1^4}{\theta_D^3} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ҷавоб:  $1,22 \text{ мДж}$ .

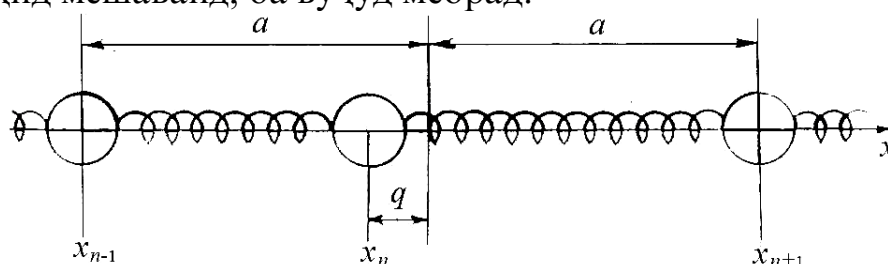
## Кори мустақилонаи №2 аз практикуми физикавӣ

### ОМУҲТАНИ ВОБАСТАГИИ ҚУВВА ВА ЭНЕРГИЯИ ПОТЕНСИАЛИИ ҲАМТАЪСИРОТ БА МАСОФАИ БАЙНИ АТОМҲО ДАР ПАНЧАРАИ КРИСТАЛӢ

**Мақсади кор :** таҳқиқи назариявии вобастагии қувва ва энергияи потенциалии таъсиrotи мутақобила ба масофаи байни атомҳо дар панҷараи кристалӣ, сохтани графикҳои вобастагии қувва ва энергияи потенциалии ба масофаи байнашон

Агар хосияти асосии газҳо қобилияти васеъшавии номахдуди онҳо бошад, ҷисмҳои сахт, баръакс, ҳаҷм ва инчунин, шакли зоҳириашонро нафақат дар набудани таъсиrotи беруна, балки ҳангоми мавҷудияти онҳо ҳам низ нигоҳ медоранд. Дар кристалҳо таъсири мутақобилаи атому молекулаҳо он қадар зиёд аст, ки дар наздикшавии идеалии ҳаракати ҳароратии онҳоро ба назар нагирифта, танҳо таъсиrotи статистикуи онҳоро дида баромадан мумкин аст.

**Қувваҳои таъсири мутақобила.** Атомуи ҷисмҳои сахт системаи бо ҳам зич алоқаманди ҳиссаҷаҳоро ташкил медиҳанд. Барои он ки дар тарзи дурусти ҷойгирии онҳо ягон таҳрифи намоён дароварда шавад, энергияи ҳаракати ҳароратӣ кифоягӣ намекунад. Чунин таъсиrot фақат дар наздикии мавқеи мувозинатӣ кӯчиши нисбат ба даври панҷара хеле хурдро ба амал меорад. Қувваҳои кашии дар ин ҳол ба вучуд омада ба ҳаракати ҳароратӣ муқобил аст, кӯшиш мекунад, ки атомҳоро ба ҷояшон баргардонад ва ин тавсифи муҳими кристалҳо ба ҳисоб меравад. Ин қувваро потенциали таъсири мутақобилаи ҳиссаҷаҳо (атому молекулаҳо), ки дар кристал муттаҳид мешаванд, ба вучуд меорад.



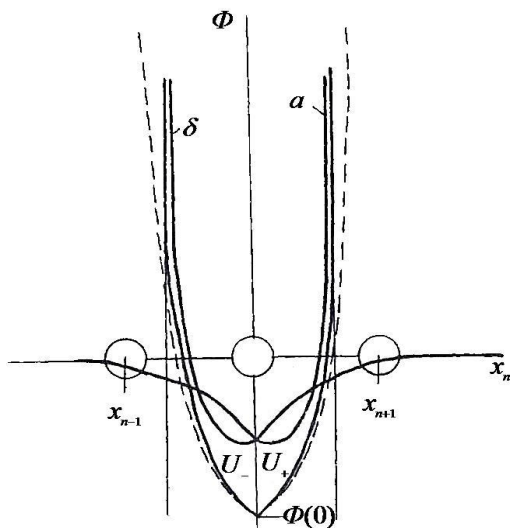
Расми 1

Табиати ин қонуниятро дар мисоли занҷири хаттии атомҳо (расми 1) фаҳмонидан осон аст, яъне атом бо ду атоми ҳамсояш таъсир мекунад. Барои кристалҳои ковалентӣ ва молекулавӣ сустшавии таъсири мутақобила вобаста ба масофа хос аст. Ҳар як атоми занҷир бо атомуи ҳамсояи худ ва ин атом боз бо ҳамсояи худ алоқаманд буда, ягонтои онҳо озод нестанд.

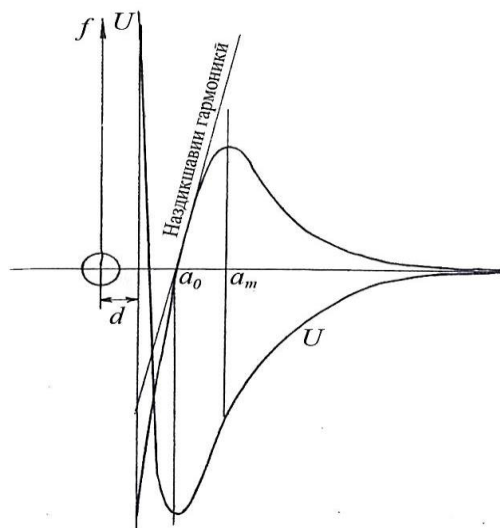
Барои баҳо додан ба потенциали таъсири атомҳо аз қачии потенциалие, ки аз ду шохаи таъсиrotи байниҳамии атоми мазкур бо ҳамсояи рост  $U_-$  ва ҳамсояи чап  $U_+$  иборат мебошад (расми 2) истифода бурдан мумкин

аст. Ҳар яке аз ин шохаҳо дар расми 2 тасвир ёфта, минимуми худро дорад (ҳангоми  $r = a_0$ ). Дар масофаи  $r$  потенциали таъсирот намуди зерин дорад:

$$U(r) = U_0 + \frac{\beta_0}{2!}(r - a_0)^2 + \frac{g_0}{3!}(r - a_0)^3 + \dots \quad (1)$$



Расми 2



Расми 3

Суммаи онҳо потенциалеро медиҳад, ки он нисбат ба кӯчиши онҳо аз мавқеи ба ҳар ду атом баробар истода симетрӣ аст:

$$\Phi(x_n) = U_- + U_+ = U(x_n - x_{n-1}) + U(x_{n+1} - x_n). \quad (2)$$

Қувваи баргардонандаи ба атоми  $n$ -ум гузошташуда ба суммаи қувваҳои аз чап ва рост таъсировар баробар аст:

$$F_n = \frac{d\Phi}{dx_n} = -f(x_n - x_{n-1}) + f(x_{n+1} - x_n) = f_- + f_+. \quad (3)$$

Ҳар яки онҳо ба воситаи ҳамон як ҳосилаи потенциалҳо муайян карда мешавад (расми 3):

$$f(r) = \frac{dU}{dr}. \quad (4)$$

Формулаи (3)-ро истифода бурда муқарар намудан мумкин аст, ки дар наздикии гиреҳи панҷара

$$f(r) \approx \beta_0(r - a_0) + g_0(r - a_0)^2 \approx e\Delta a + \beta(r - a_0) + \frac{1}{2}(r - a_0)^2 \quad (5)$$

мебошад, ин ҷо

$$\Delta a = a - a_0 \leq 0, \quad \text{ва} \quad e = \beta_0 - \frac{1}{2}q_0\Delta a; \quad \beta = \beta_0 - q_0\Delta a; \quad g = g_0. \quad (6)$$

Маълум аст, ки дар ҳолати умумӣ  $\Delta a \neq 0$ , аз ин сабаб, панҷара ҳам дар ҳолати фишурдаву ва чӣ васеъшуда устувор буда наметавонад. Ифодаи  $\Delta a/a_0 = (a - a_0)/a_0$  деформатсияи хаттии кристалро дар муқоиса бо ҳолате, ки шиддати механикӣ нест, яъне ҳангоми  $a = a_0$ , ифода мекунад. Минимумҳои  $U_{\pm}$  бо минимуми  $\Phi$  мувофиқ меоянд.



Дар як вақт  $\Delta a/a_0$  он қадар хурд аст, ки бо ҳам мувофиқ наомадани минимумҳои  $U_-$  ва  $U_+$  барои шакли параболиро гирифтани суммаи онҳо, ҳангоми кӯчиши хурди атомҳо ҳалал намерасонад. Қуввахое, ки ба атом аз тарафҳои гуногун таъсир мекунад, чунинанд:

$$f_- = -l\Delta a - \beta(x_n - x_{n-1} - a)$$

ва

$$f_+ = l\Delta a + \beta(x_{n+1} - x_n - a). \quad (7)$$

Суммаи онҳо қувваи натиҷавиро медиҳад:

$$F_n = f_- + f_+ = \beta(x_{n+1} - x_{n-1} - 2x_n) = -2\beta q \quad (8)$$

бо шиддате, ки аз ҳисоби деформатсияи панҷара ҳосил мешавад ( $l\Delta a$ ) ҳамдигарро компенсатсия мекунад. Аъзоҳои боқимонда ба майли атоми  $q$ -ум аз мавқеи мувозинатӣ нисбат ба ҳамсоҷаш хаттӣ вобаста аст:

$$\left( q = x_n - \frac{x_{n+1} + x_{n-1}}{2} \right).$$

Кӯчиши ками атомҳо дар қисмҳои саҳт, дар наздикии мавқеи мувозинатӣ, бояд характери лапишҳои гармоникиро дошта бошанд. Ғайр аз ин, ки лапишҳо бояд байни худ мувофиқ оянд, чунки дар байни кӯчишҳои ҳамаи атомҳои кристал робитаи муайян мавҷуд аст. Ин ба он сабаб бармеояд, ки мувофиқи формулаи (8) қувва на фақат ба координатаҳои атоми муайян, балки ба координатаҳои атомҳои ҳамсоҷ низ вобаста аст.

Дар модели дидабаромада атомҳо фақат бо ҳамсоҷҳои наздики худ пайвастанд. Лекин ҳангоми лапишхӯрии яке аз онҳо боқимондаҳояшон низ ба ҳаракат мебароянд, яъне тамоми кристал якбора ҳамчун қисми яклухт лапиш меҳӯрад. Қимати миёнаи кӯчишҳоро бо истифода аз функцияи тақсимоти Болсман ҳисоб мекунем. Ин функция имконият медиҳад, ки ҳамаи қиматҳои имконпазири  $x$ -ро мувофиқи эҳтимолияти термодинамикии онҳо ба назар гирем:

$$\langle x \rangle = \left( \int_{-\infty}^{+\infty} x e^{-\frac{U(x)}{\tau}} dx \right) \left( \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{U(x)}{\tau}} dx \right)^{-1}, \quad (9)$$

ин ҷо  $\tau = kT$ . Дар мавриди кӯчишҳои хурд аъзоҳои ғайригармоникиро дар ифодаи энергия назар ба  $kT$  кам ҳисобида, функцияи таҳти интегралро дар (9) ба қатор паҳн менамоем:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x e^{-\frac{U(x)}{\tau}} dx = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\beta_0 x^2}{2\tau}} \left( x + \frac{1}{\tau} \frac{g_0 x^4}{3} - \frac{1}{\tau} \frac{\rho x^5}{4} \right) dx = \sqrt{\frac{2\pi g_0^2 r^3}{x^5}}; \quad (10)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{U(x)}{\tau}} dx = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\beta_0 x^2}{2\tau}} dx = \sqrt{\frac{2\pi\tau}{\beta_0}}. \quad (11)$$

Аз ин ҷо барои  $\langle x \rangle$  ифодаи зеринро ҳосил менамоем:

$$\langle x \rangle = \frac{g_0}{\beta_0^2} kT.$$

Дар формулаи (9) аъзои квадрати  $\beta_0 x^2/2$ -ро дар экспонента ба қатор паҳн мекунем:

$$\exp\left[\frac{1}{\tau}\left(\frac{g_0 x^3}{3} - \frac{\rho x^4}{4}\right)\right] \approx 1 + \frac{1}{\tau} \frac{g_0 x^3}{3} - \frac{1}{\tau} \frac{\rho x^4}{4} + \dots \quad (12)$$

Ҳангоми муҳокимаи васеъшавии ҳароратӣ аъзои то тартиби чорумро нигоҳ медоранд. Барои коэффисиенти васеъшавии ҳароратӣ ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\alpha = \frac{g_0 k}{a_0 \beta_0^2} \quad (13)$$

Ин ифода коэффисиенти васеъшавии ҳароратиро бо коэффисиентҳои дар қатори (12) дохилбуда алоқаманд мекунанд. Ин ҷо  $k$ -доимии Болсман мебошад.

Муодилаи дуюмро барои ҳосил кардани коэффисиентҳои  $\gamma$  ва  $g$  истифода бурдан мумкин аст, яъне аз робитаи байни энергияи потенциалии ҳамтаъсиrotи атомҳо ифода барои модули чандириро ҳосил намудан мумкин аст. Дар қатори (12) бо аъзои тартиби сеюм маҳдуд мешаванд, он гоҳ тағйироти энергияи потенциалии чунин мешавад:

$$\Delta U(x) = U(r) - U(a_0) = \frac{1}{2} \beta_0 x^2 - \frac{1}{3} g_0 x^3 \quad (14)$$

Мувофиқи баробарии (4) қувваи ҳамтаъсиrot чунин намуд мегирад:

$$F_{\text{дохили}} = -\frac{\partial U(x)}{\partial x} = -\beta_0 x + g_0 x^2.$$

Агар қувва аз берун гузошта шуда бошад:

$$F_{\text{беруни}} = -F_{\text{дохили}} = \beta_0 x - g_0 x^2 \quad (15)$$

қабул кардан раво аст. Ҳарду тарафи (15)-ро ба масоҳате, ки ба он қувва гузошта шудааст, тақсим карда шиддати механикии ба кристал таъсирро ёфтани мумкин аст. Ин масоҳат ҳангоми ба назар нагирифтани кӯчиши атомҳо аз мавқеи мувозинатӣ барои панҷараҳои кубӣ ба  $a_0^2$  баробар аст. Дар натиҷа, ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\sigma = E\varepsilon - q_0 \varepsilon^2 \quad (16)$$

Ин ҷо  $\sigma = F/a_0^2$  -шиддати таъсирро,  $E = \beta_0/a_0$  -модули чандирии муътадил,  $\varepsilon = x/a_0$  -деформатсияи нисбӣ мебошанд. Ҳангоми деформатсияҳои хурд дар ифодаи (16) аъзои дуюмро ба эътибор нагирифтани мумкин аст. Он гоҳ мо қонуни Гукро ҳосил мекунем:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (16)$$

Ҳамин тариқ, муайянкунии модули чандирӣ  $E$  ҳангоми кӯчишҳои хурд имконият медиҳад, ки доимии  $\beta_0 = E a_0$  ҳисоб карда шавад ва дар яқоягӣ бо муодилаи (13)  $g_0$  -ро дарёбем. Барои тағйироти энергияи потенциалии ҳамтаъсиrotи атомҳо бо саҳеҳии то аъзои тартиби сеюм  $g_0$ -ро ба ифодаи (14) гузошта, ифодаи зеринро ҳосил менамоем:

$$\Delta U(x) = \frac{1}{2} E a_0 x^2 - \frac{1}{3} \frac{\alpha a_0^3 E^2}{k} x^3 \quad (18)$$

### Тартиби иҷрои супориш

1. Қимати бузургихоро барои метали муайян аз ҷадвали 2 гирифта, графикаи вобастагии  $\Delta U(x)$ -ро ба кӯчиш ( $x$ ) созед. Барои ин ҷадвали 1-ро пур намоед.
2. Қиматҳои  $a_0$  ва  $U(a_0)$ -ро аз ҷадвали 2 гирифта, графикаи  $U(r)$ -ро созед ( $0 \leq r \leq 1,5r$ ).
3. Барои қиматҳои  $0 \leq r \leq 1,5r$  графикаи  $F(r) = -\frac{\partial U}{\partial r}$ -ро созед.
4. Графикаи ҳосилкардаатонро барои вобастагии энергияи потенциали ва қувваи таъсири муттақобилаи атомҳо ба масофаи байни онҳо маънидор намоед.

Эзоҳ: графикҳоро дар варақи миллиметрӣ созед.

Ҷадвали 1

Барои ғеҷиши манфӣ		Барои ғеҷиши мусбат	
$x, 10^{-10} \text{ м}$	$\Delta U(x), 10^{-20} \text{ Ҷ}$	$x, 10^{-10} \text{ м}$	$\Delta U(x), 10^{-20} \text{ Ҷ}$
-0,1		0	
-0,2		0,1	
-0,3		0,2	
-0,4		0,3	
-0,5		0,4	
-0,6		0,5	
-0,7		0,6	
-0,8		0,7	
-0,9		0,8	
-1,0		0,9	
		1,0	

Ҷадвали 2

### Ҳосиятҳои физикавии металҳои тоза

Метал	Зичӣ кг/(м <sup>3</sup> )	Коэф. васеъ. ҳароратӣ ( $10^{-6}$ ) К <sup>-1</sup>	Модули Юнг, $E, 10^{10} \text{ Па}$	$a_0, 10^{-10} \text{ м}$	$U(a_0), 10^{-20} \text{ Ҷ/атом}$
Алюминий	2700	21,0	7,22	2,863	53,40
Барий	3750	19,0	1,26	4,347	25,15
Бериллий	1840	12,0	31,1	2,226	51,6
Ванадий	6110	8,3	13,0	2,622	79
Висмут	9800	13,3	3,48	3,095	29,5
Волфрам	19300	4,4	39,6	2,741	139,3

Гадолиний	7890	9,7	2,23	3,573	66,22
Галлий	5920	18,1	5,0	2,442	45,17
Гафний	13290	5,9	14,1	3,127	111,7
Индий	7300	28,4	1,07	3,251	39,57
Иридий	22400	6,5	51,0	2,715	102
Иттрий	4470	9,3	6,6	3,551	65,56
Кадмий	8650	29,0	6,35	2,979	16,6
Калий	860	83,3	0,35	4,544	15,05
Калсий	1530	18,5	2,6	3,947	25,32
Кобалт	8850	13,5	20,4	2,506	62,5
Лантан	6180	5,2	3,8	3,739	71,8
Литий	530	56	0,49	3,039	26,08
Магний	1740	27	4,52	3,197	25,2
Манган	7440	22,3	20,2	2,731	37,83
Мис	8920	16,6	12,5	2,556	56,70
Молибден	10200	5,3	84,7	2,725	109,00
Натрий	970	72,0	0,91	3,716	14,83
Никел	8960	13,2	20,5	2,492	71,00
Ниобий	8570	7,2	10,6	2,858	110,3
Нукра	10490	18,6	8,05	2,889	41,9
Осмий	22500	4,6	55,5	2,675	124,56
Оҳан	7870	10,7	21,7	2,482	69,65
Палладий	12020	9,5	11,3	2,751	58,8
Платина	21450	9,5	14,7	2,775	85,0
Рений	21020	6,7	47,0	2,741	130,5
Родий	12480	8,5	27,5	2,690	82,55
Рубидий	1530	90,0	0,235	4,950	11,7
Рутений	12400	9,1	42,2	2,650	107,9
Рух	7140	25,0	9,92	2,665	19,2
Сезий	1900	97	0,17	5,309	10,9

Серий	6780	7,1	3,06	3,650	68,2
Симоб	13500	182,0	2,53	3,005	10,31
Сирконий	6500	5,4	9,6	3,179	95,8
Скандий	3000	11,4	5,67	3,212	52,4
Стронсий	2630	21,0	1,6	4,303	22,3
Сурб	11340	28,3	1,66	3,500	29,6
Таллий	11850	28,0	0,8	3,408	30,7
Тантал	16600	6,6	18,6	2,860	125,2
Тилло	19300	14,0	8,06	2,884	61
Титан	4520	8,1	10,8	2,896	66,2
Торий	11600	11,5	0,07	3,595	99,5
Уран	19050	14,0	175,8	2,770	74,45
Хром	7190	6,2	24,0	2,498	65,60
Қалъагӣ	7290	23,0	5,54	2,810	49,33

$a_0$  - масофаи наздиктарини байни атомҳо дар панҷараи кристалӣ,  $U(a_0)$  - энергияест, ки барои атомҳоро дар  $0 K$  аз ҳамдигар ба беохирӣ дур кардан лозим аст.

### Кори мустақилонаи №3 аз практикуми физикавӣ

#### Муайян намудани тағйироти энтропия ҳангоми гармкунӣ ва гудозиши қалъагӣ

*Мақсади кор:* муайян намудани температураи гудозиш ва кристализатсияи қалъагӣ, тағйироти энтропия ҳангоми гузариши фазавии чинси якум (гудозиш ва кристализатсияи қалъагӣ).

*Назарияи усул*

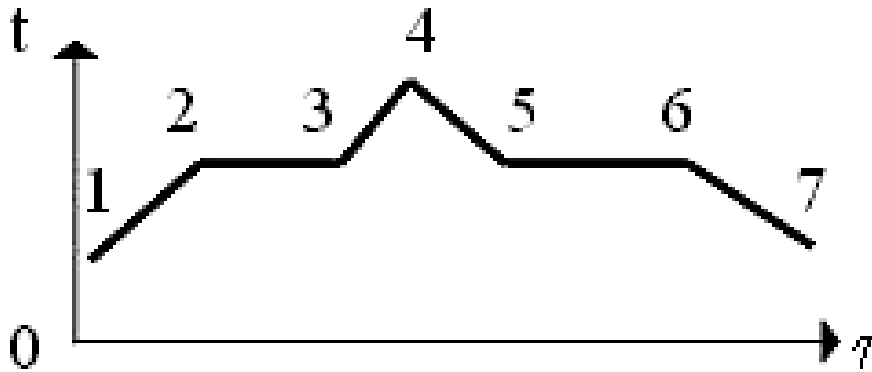
Гузариши фазавии чинси якум бо фурубурд ё хориҷи як микдор гармӣ ва тағйирёбии ҳаҷми хоси модда ба амал меояд; температураи гузариш доимӣ монда ба фишор вобаста аст. Яъне, барои гудохтани моддаи массааш  $m$ , ки дар температураи гудозиш  $T_f$  қарор дорад, микдори гармии  $Q_f$  лозим аст:

$$Q_f = m\lambda$$

Ин ҷо  $\lambda$  - гармии хоси гудозиши моддаи муайян аст.

Дар расм вобастагии температураи ҷисми саҳт ба вақт ҳангоми гармкунӣ ва гудозиш, инчунин, сардгардонӣю кристализатсия тасвир ёфтааст. Қитъаи 1-2 ба гармшавии ҷисми саҳт ва 2-3- гудохташавии он, 3-4- гарм-

шавӣ ва 4-5- сардшавии моеъ, 5-6- кристализатсия ва 6-7- сардшавии ҷисми сахт рост меояд.



Энтропия функсияи ҳолати системаи термодинамикӣ мебошад, ки дифференсиали он  $dS$  дар протсесҳои баргарданда ба миқдори гармии беохир ками  $dQ$  дар температураи  $T$  ба система додасуда баробар аст:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

Энтропия то саҳеҳии бузургии доимӣ муайян карда мешавад, аз ин рӯ, танҳо дар мавриди тағйирёбии система ҳангоми гузариши он аз ҳолати 1 то 2 маъно дорад.

Чи хеле ки аз расм дида мешавад, протсесҳои гудозиш ва кристализатсия қалъагӣ дар температураи доимии  $T = T_r$  мегузаранд, яъне ин протсесҳо изотермӣ мебошанд. Тағйироти энтропияро дар ин протсес бо формулаи зерин муайян намудан мумкин аст:

$$\Delta Q_r = \frac{1}{T_r} \int_1^2 \delta Q_r = \frac{Q_r}{T_r}.$$

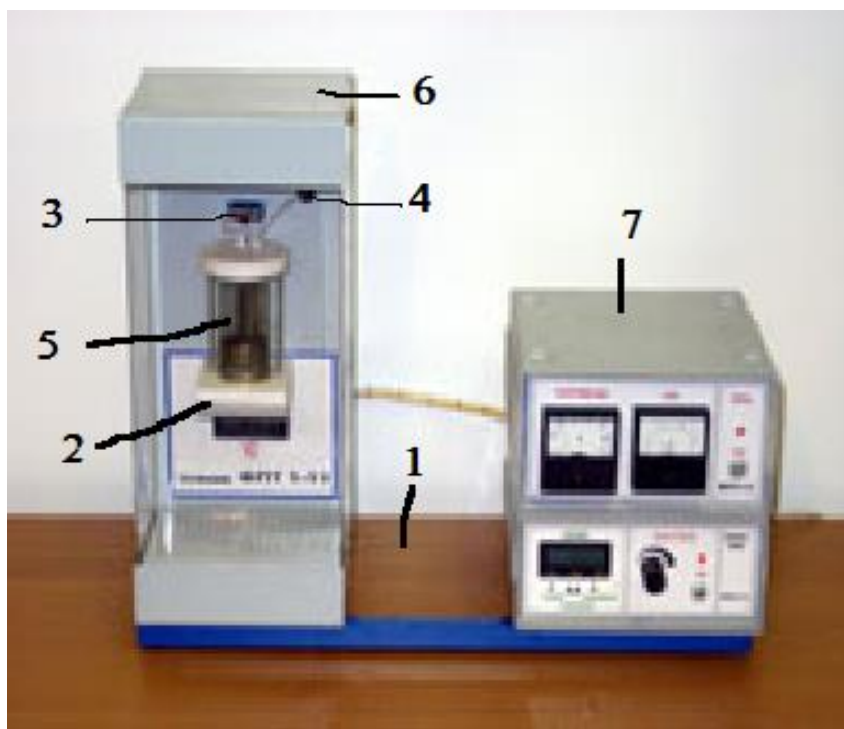
Аз ин ифода бармеояд, ки тағйироти энтропияро ҳангоми гармкунӣ ва гудозиши қалъагӣ ҳамчун суммаи тағйироти энтропия ҳангоми гармкунӣ аз температураи ибтидоии  $T_k$  то температураи  $T_r$  ва гудозиши қалъагӣ ифода кардан мумкин аст:

$$\begin{aligned} \Delta S &= cm \int_{T_k}^{T_r} \frac{dT}{T} + \frac{\lambda m}{T_r}; \\ \Delta S &= cm \ln \frac{T_r}{T_k} + \frac{\lambda m}{T_r}. \end{aligned} \quad (1)$$

Ин ҷо  $c$ - гармиғунҷоиши хос ва  $\lambda$ -гармии хоси гудозиши қалъагӣ мебошанд. Формулаи (1)-ро барои дар таҷриба муайян намудани тағйироти энтропия ҳангоми гармкунӣ ва гудозиши қалъагӣ, баъди андозагирии вобастагии температураи он ба вақти гармкунӣ истифода мебарем.

#### *Дастгоҳи таҷрибавӣ*

Барои муайян намудани тағйироти энтропия ҳангоми гармкунӣ ва гудозиши ҷисми сахт дастгоҳи таҷрибавии ФПТ 1-11 истифода мешавад, ки сохти умумии он дар расми 1 тасвир ёфтааст.



Расми 1. Намуди умумии дастгоҳи таҷрибавии ФПТ 1 – 11: 1-поя, 2-кронштейн, 3-гармкунак, 4- танзимгари температура, 5-бӯта (тигел) бо моддаи таҳқиқшаванда, 6-блоки элементи корӣ, 7-блоки асбоб.

Қалъагиро бо ёрии гармкунаки электрии 3, ки манбаи қуввагии он ба асбоби 7 пайваст аст, гарм мекунем. Температураи қалъагиро термометри рақамӣ, ки дар блоки элементи кории 6 ҷойгир аст, нишон медиҳад. Вақти гармшавиро бо сониясанҷи рақамӣ, ки дар блоки асбоб ҷойгир аст, қайд мекунам. Сониясанҷро вақте ба кор мебароранд, ки блоки асбоб ба кор омода бошад.

### Тартиби иҷрои кор

1. Тугмаи «Манбаъ» (Сеть)-и дастгоҳро пахш карда, температураи ибтидоии  $T_k$  қалъагиро қайд кунед.

2. Дар як вақт гармкунакро пайваст карда, сониясанҷро ба кор дароред ва баъди ҳар як дақиқа температураи қалъагиро қайд намоед. Андозагирӣ то замоне давом мекунад, ки температура ба бузургии доимии  $T_r$  нарасад, баъд ба зиёд шудан сар мекунад. Натиҷаи андозагириро дар графикаи  $T=f(\tau)$  қайд намоед.

3. Гармкунакро хомӯш намоеду температураро ҳангоми сардшавии қалъагӣ чен карда, бузургиашро дар ҳамон график, ки дар банди 2 буд, қайд намоед.

4. Тугмаи «Манбаъ»-и дастгоҳро пахшу асбобро хомӯш намоед.

### Коркарди натиҷаи таҷриба

1. Аз рӯйи ду графика ҳосилшуда температураҳоро дар ҷойҳои бо тири вақт паралели график ёфта, аз рӯйи қимати миёнаи онҳо температураи гудозиши қалбагиро муайян намоед.
2. Бо ёрии формулаи (1) тағйироти энтропияро дар мавриди гармкунӣ ва гудозиши қалбагӣ ҳисоб намоед. Гармии хоси гудозиш ва гармиғунҷо-иши қалбагиро аз ҷадвал гиред.
3. Натиҷаҳои ҳосилшударо маънидод намоед.

## Боби V КИНЕТИКАИ ФИЗИКАВӢ

### § 5.1 Навъҳои ҳодисаҳои интиқол

Кинетикаи физикавӣ протсессҳои макроскопии дар системаи ғайри-мувозинатӣ гузарандаро (ҳангоми аз ҳолати мувозинатии термодинамикӣ майл кардани онҳо) меомӯзад. Кинетикаи физикавии феноменологӣ,

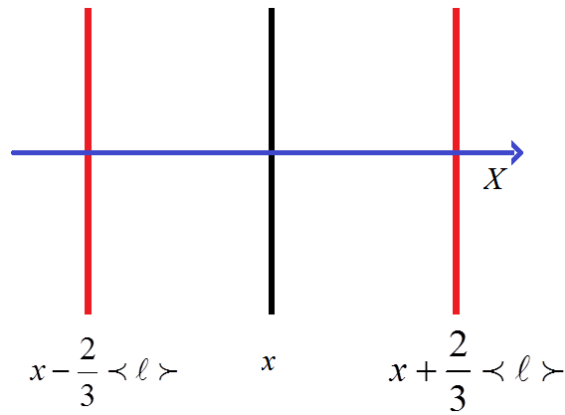


қонунҳои тағйирёбии параметрҳои макроскопии (температура, консентратсияи зарраҳо ва ғ.) системаҳои ғайримувози-натиро ҳангоми диффузия, гармигузаронӣ, соиши дохилӣ ва ғ. меомӯзад. Вазифаи кинетикаи физикавии статистикӣ муайян намудани коэффисиентҳои интиқол (коэффисиенти часпакӣ, диффузия, гармигузаронӣ) мебошад. Дар мавриди мавҷудияти градиентҳои якҷанд бузургӣ, масалан, градиентҳои температура ва консентратсия, дар система ғайр аз протсесҳои мустақили интиқол (гармигузаронӣ, диффузия) боз протсесҳои иловагӣ (термодиффузия, гармигузаронии диффузӣ) ба амал меоянд.

Агар дар тамоми ҳаҷми система параметрҳои термодинамикӣ қиматҳои якандоза дошта бошанд, система дар ҳолати мувозинатӣ аст. Агар қимати параметрҳои термодинамикӣ дар ҷойҳои гуногуни ҳаҷми система фарқ дошта бошад, система дар ҳолати ғайримувозинатӣ асту баъд аз вақти муайян ҳатман ба ҳолати мувозинатӣ меояд. Муддати вақтеро, ки система аз ҳолати ғайримувозинатӣ ба ҳолати мувозинатӣ меояд, вақти релаксатсия (аз лот. relaxation- паст шудани шиддат, сустшавӣ) меноманд. Барои протсесҳои гуногун ин вақт якандоза нест. Масалан, агар бо таъсири беруна тақсимоти Максвелл вайрон шавад, вақти барқарор гардидани тақсимотро вақти максвеллӣ, ё ки вақти ҳароратӣ меноманд. Агар консентратсияи молекулаҳо гуногун бошад, баъд аз вақти муайян дар ҳама ҷои зарф он баробар мешавад. Ба ҳодисаҳои интиқол гармигузаронӣ, часпакӣ (соиши дохилӣ) ва диффузия мансубанд. Агар дар ду ҷойи газ температура гуногун бошад, аз ҷойи гармтар ба ҷойи сардтар энергия, ё ки миқдори гармӣ мегузарад. Агар қабатҳои гуногуни газ ё моеъ бо суръатҳои гуногун ҳаракат кунанд, аз қабати тезҳаракат ба қабати сустҳаракат импульс ( $m\vartheta$ ) гузаронида мешавад. Суръати қабати тезҳаракат кам мешаваду суръати қабати суст меафзояд. Қувваи соиши дохилиеро, ки дар ин ҳолат пайдо мешавад, часпакӣ меноманд. Агар консентратсияи молекулаҳо дар ҳаҷми зарф гуногун бошад, аз ҷойи зиёдбуда ба ҷойи кам масса, ё ки миқдори модда гузаронда мешавад. Ин ҳодисаро диффузия меноманд.

## § 5.2 Ҳодисаҳои интиқол дар газҳо

Бигузур бузургии физикавие, ки аз як ҷой ба ҷойи дигар мегузарад ва ба як молекула дахл дорад,  $G$  бошад. Аз масоҳати арзӣ ҳамон молекулаҳо мегузаранд, ки аз он дар масофаи  $x - \frac{2}{3} \langle l \rangle$  ё ки  $x + \frac{2}{3} \langle l \rangle$  ҷойгиранд (расми 5.1).



Расми 5.1

Азбаски  $\langle l \rangle$ -ниҳоят хурд аст, ҳангоми ба қатор паҳн кардан танҳо аъзои якумашро ба назар мегирем:

$$G\left(x \pm \frac{2}{3} \langle l \rangle\right) = G(x) \pm \frac{2}{3} \langle l \rangle \frac{\partial G(x)}{\partial x}$$

Сели молекулаҳое, ки ба самти мусбати тири ОХ ҳаракат мекунанд, ба  $\frac{n \langle \mathcal{G} \rangle}{4}$  баробар аст. Бузургии физикавии  $G$  танҳо ба як молекула дахл дорад. Сели бузургии  $G$ , ки ба самти манфии тири ОХ мегузарад:

$$J_G^- = -\frac{n \langle \mathcal{G} \rangle}{4} \left[ G(x) + \frac{2}{3} \langle l \rangle \frac{\partial G(x)}{\partial x} \right]$$

ва сели бузургии  $G$ , ки ба тарафи мусбати тири ОХ мекӯчад,

$$J_G^+ = \frac{n \langle \mathcal{G} \rangle}{4} \left[ G(x) - \frac{2}{3} \langle l \rangle \frac{\partial G(x)}{\partial x} \right]$$

мебошад. Сели пурраи ба самти мусбати тири ОХ-гузаранда:

$$J_G = J_G^+ + J_G^- = -\frac{1}{3} n \langle \mathcal{G} \rangle \langle l \rangle \frac{\partial G(x)}{\partial x} \quad (5.1)$$

ҳисоб меёбад. Формулаи (5.1)-ро чун муодилаи умумӣ барои ҳодисаҳои интиқол дар газҳо медонанд. Барои ҳар як ҳодисаи интиқол бузургии гузарандаро ба эътибор гирифта, муодилаҳоро барои гармигузаронӣ, часпакӣ ва диффузия ҳосил менамоем.

1) Гармигузаронӣ. Дар ин маврид бузургии гузаранда энергияи як

$$\text{молекула мебошад: } G = q = \frac{i}{2} kT = \frac{ikN_A T}{2N_A} = \frac{i}{2} \frac{RT}{N_A}$$

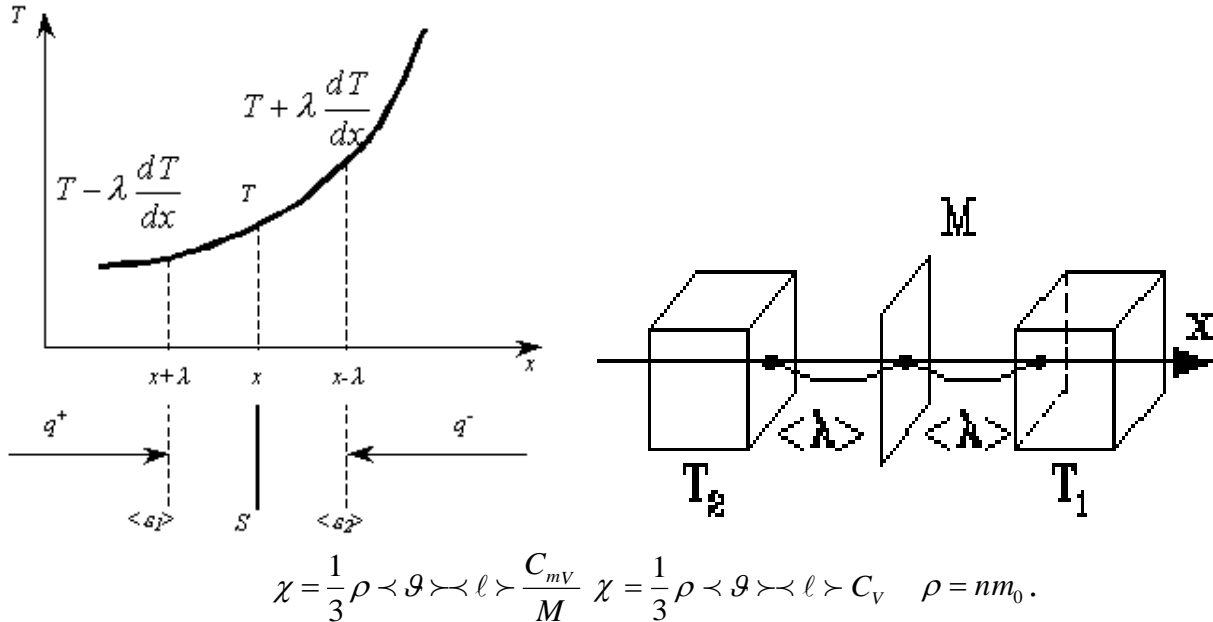
$$C_{mV} = \frac{i}{2} R \text{ ва } q = \frac{C_{mV} T}{N_A}, J_q = -\frac{1}{3} n \langle \mathcal{G} \rangle \langle l \rangle \frac{C_{mV}}{N_A} \frac{dT}{dx} = -\chi \frac{dT}{dx}. \quad (5.2)$$

Бузургии  $\chi = \frac{1}{3} n \langle \mathcal{G} \rangle \langle l \rangle \frac{C_{mV}}{N_n}$ -ро коэффициенти гармигузаронӣ мена-

манд.  $\frac{dT}{dx}$ -градиенти (аз лот. *gradiens*-ҳаракатманд, кадамзананда) температура,  $C_{mV}$ -гармиғунҷоиши молӣ мебошанд.

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx}$$

Ин ифодаро муодилаи Фурье барои гармигузаронӣ, ё ки қонуни Фурье меноманд. Аз қонуни Фурье бармеояд, ки воҳиди  $\chi$  дар СИ  $1\text{ Ҷ}/(\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{К}) = 1\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  мебошад:



$$\chi = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{C_{mV}}{M} \quad \chi = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle C_V \quad \rho = nm_0.$$

Ин ҷо  $C_V$ - гармиғунҷоиши хос аст.

Вобастагии коэффисиенти гармигузарониро ба параметрҳои ҳолат ва навъи газ муайян менамоем:

$$\chi \sim \frac{PM}{RT} \left( \frac{RT}{M} \right)^{1/2} \frac{kT}{\sigma^2 P M} \sim \frac{i}{\sqrt{M}} \frac{\sqrt{T}}{\sigma^2}.$$

Дар температураи доимӣ  $\rho \sim P$  ва  $\langle \ell \rangle \sim \frac{1}{P}$  мебошад. Аз ин рӯ коэффиси-

сенти гармигузаронӣ ба фишор вобаста нест. Азбаски  $\rho \sim \frac{1}{T}$ ,  $\langle \ell \rangle \sim T$  ва  $\langle \vartheta \rangle \sim \sqrt{T}$  аст  $\chi \sim T^{1/2}$ , яъне барои гази муайян коэффисиенти гармигузаронӣ ба решаи квадратӣ аз температура мутаносиби роста аст, яъне бо баланд шудани температура  $\chi$  меафзояд. Молекулаҳои сферавӣ ҳисобида, радиуси молекулаҳои аз бузургии дарозии дави озод  $\langle \ell \rangle$  ҳисоб кардан мумкин аст. Коэффисиенти гармигузаронӣ дар температураи доимӣ ба адади дараҷаи озод мутаносиби роста, яъне барои гази дуатома назар ба якатома зиёд аст. Радиуси молекулаи гидроген назар ба радиуси молекулаи оксиген ҳамагӣ 1,5 маротиба хурд аст ҳалос. Коэффисиенти гармигузаронӣ ба решаи квадратӣ аз масаи молӣ мутаносиби чаппа аст. Аз ин сабаб ҳам суръат ва ҳам коэффисиенти гармигузаронии газҳои сабук зиёд мебошад. Дар ҷадвалҳои 5.1-5.2 бузургии коэффисиенти гармигузаронии баъзе газҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 5.1

Коэффисиенти гармигузаронии газҳо дар фишори нормалӣ

Модда	t, °C	λ, Вт/(мК)	Модда	t, °C	λ, Вт/(мК)
Нитроген	15	0,0251	Гелий	43	0,1558
Аргон	41	0,0187	Оксиген	20	0,0262
Гидроген	15	0,1754	Метан	0	0,0307
Ҳаво	20	0,0257	CO <sub>2</sub>	20	0,0162

Ҷадвали 5.2

### Коэффициенты гармигузаронии газҳо Вт/(м К)

Газ	t, 0 °C	t, 50 °C	t, 100 °C	t, 200 °C
Нитроген	0,0233	0,0267	0,0314	0,0384
Аммиак	0,0209	0,0256	0,0314	-
Гидроген	0,1628	0,1861	0,2210	0,2559
Буғи об	0,0163	0,0198	0,0244	0,0326
Ҳаво	0,0244	0,0279	0,0326	0,0395
Оксиген	0,0244	0,0291	0,0326	0,0407
Метан	0,0302	0,0361	0,0465	-
Этан	0,0174	0,0233	0,0314	-
Этилен	0,0163	0,0209	0,0267	-
CO <sub>2</sub>	0,0140	0,0186	0,0233	0,0314

Барои омехтаи газҳо коэффициенти гармигузаронии онро аз рӯйи қоидаи аддитивнокӣ (чамъбандӣ) муайян намудан мумкин нест, танҳо дар таҷриба онро чен бояд кард.

2) Часпакӣ. Дар ин маврид импульси молекула интиқол меёбад:

$G = m_0 u$  ва сели импульси интиқолёфта:  $J_{mu} = f_c = -\frac{1}{3} n \langle g \rangle \langle \ell \rangle m_0 \frac{du}{dx}$  мебошад,

аз ин рӯ

$$F = -\eta \frac{du}{dx}. \quad (5.3)$$

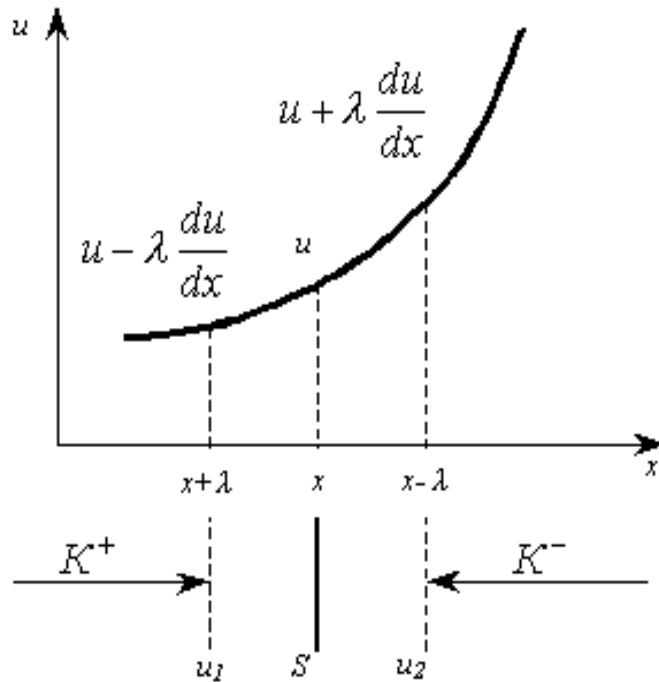
ҳисобидан равоқ. Ин ҷо  $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle g \rangle \langle \ell \rangle$  — коэффициенти часпакӣ ва  $\frac{du}{dx}$  —

градиенти суръат буданаширо таъкид менамоем. Ин муодиларо аввалин маротиба Ҷ. Максвелл соли 1860 исбот кардааст. Часпакӣ ададан ба қувваи соиши дохилие баробар аст, ки ҳангоми ба градиенти воҳидии суръат ( $\Delta g / \Delta Z = 1 \text{ с}^{-1}$ ) нисбат ба якдигар ҳаракат намудани қабатҳои масоҳаташон воҳидии газ ба вучуд меояд. Воҳиди часпакӣ дар СИ - 1 Па с. Дар системаи СГС ба шарафи физиологӣ фаронсавӣ Ж.Л.М. Пуазейл (1799-1869), ки ҳаракати моеъхоро дар қубур, асосан ҷараёни хунро дар капилар (раг)-ҳо омӯхта буд, 1 пуаз ном ниҳоданд, 1 пуаз = 0,1 Па с.

Коэффициенти часпакӣ ба параметрҳои ҳолат чунин вобаста аст:

$$\eta \sim \frac{PM}{RT} \left( \frac{RT}{M} \right)^{1/2} \frac{kT}{\sigma^2 P} \sim \sqrt{M} \frac{\sqrt{T}}{\sigma^2}.$$

Ҳангоми доимӣ будани температура коэффисиенти часпакӣ ба фишор вобаста нест. Азбаски  $\rho \sim \frac{1}{T}$ ,  $\langle l \rangle \sim T$  ва  $\langle g \rangle \sim \sqrt{T}$  мебошанд  $\eta \sim T^{1/2}$ , яъне бо баландшавии температура коэффисиенти часпакии газҳо ҳамчун решаи квадратӣ аз температура меафзояд. Коэффисиенти часпакӣ ба решаи квадратӣ аз массаи молӣ мутаносиби роста ҳисоб меёбад. Дар температураи 20 °С ва фишори  $P=101,3$  кПа барои ҳаво  $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5}$  Па с, гелий  $\eta = 1,96 \cdot 10^{-5}$  Па с, оксиген  $\eta = 2,02 \cdot 10^{-5}$  Па с, гидроген  $\eta = 0,88 \cdot 10^{-5}$  Па с буданаш муқаррар карда шудааст.

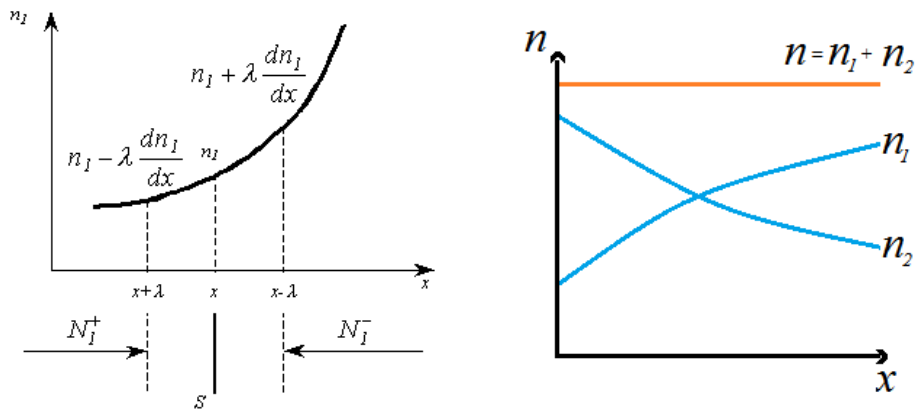


3) Диффузия (аз лот. diffusio-пахн, ҷоришавӣ). Бигузур молекулаҳо аз ҳамдигар бо ягон нишонашон фарқ кунанд, ки он ба ҳаракаташон ва ҳамтаъсироташон ҳалал намерасонад. Масалан, рангашон: молекулаҳои сиёҳ ва сафед. Агар консентратсияи онҳо дар ягон ҷойи ҳаҷм фарқ кунад, баъд аз вақти муайян система ба ҳолати мувозинатӣ меояд ва бузургии интиқолёбанда массаи молекула, яъне  $G = \frac{n_1}{n}$  мебошад. Сели массаи интиқолёфта

$$J_m = -\frac{1}{3} n \langle g \rangle \langle l \rangle \frac{1}{n} \frac{dn_1}{dx} = -D \frac{dn_1}{dx}. \quad (5.4)$$

$M = -D \frac{dn_1}{dx}$  аст. Ин таносубро муодилаи Фик меноманд. Коэффисиенти диффузия  $D$  ададан ба сели массаи аз сатҳи воҳидӣ ( $1\text{м}^2$ ) ҳангоми консентратсияи воҳидӣ ( $1\text{кг}/\text{м}^3$ ) интиқолёфта баробар мебошад. Воҳиди  $D$  дар СИ- $1\text{м}^2/\text{с}$  аст. Ҳамчун намуна қиматҳои коэффисиенти диффузия барои баъзе молекулаҳо дар ҳадвали 2 (ҳангоми  $t = 20$  °С ва  $P = 1$  атм.) оварда шудааст.

Молекулаҳои диффузияшаванда	Муҳит	$D, \text{м}^2/\text{с}$
$\text{H}_2$	ҳаво	$6,3 \cdot 10^{-5}$
$\text{O}_2$	ҳаво	$1,8 \cdot 10^{-5}$
$\text{O}_2$	об	$10 \cdot 10^{-10}$



Бузургии  $D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle$  -ро коэффициенти диффузия меноманд.  $\frac{dn_1}{dx}$  градиенти консентратсия мебошад. Коэффициенти диффузия ба параметрҳои ҳолат чунин вобаста аст:

$$D \sim \left(\frac{RT}{M}\right)^{1/2} \frac{kT}{\sigma^2 P} \sim \frac{T^{3/2}}{\sqrt{M} \sigma^2 P}.$$

Дар температураи доимӣ ( $T = \text{const}$ ):  $\langle \ell \rangle \sim \frac{1}{P}$  ва  $D \sim \frac{1}{P}$  ё ки  $DP = \text{const}$ , коэффициентҳои диффузия ба фишор мутаносиби чаппа аст. Яъне, чи қадаре фишори газ зиёд бошад, ҳамон қадар коэффициентҳои диффузия кам мешавад. Азбаски  $\langle \vartheta \rangle \sim T^{1/2}$  ва  $\langle \ell \rangle \sim T$  мебошад,  $D \sim T^{3/2}$  ҳисоб меёбад. Бо баланд гардидани температура коэффициентҳои диффузияи газҳо ҳамчун дараҷаи  $\frac{3}{2}$  зиёд мешавад. Коэффициенти диффузия ба решаи квадратӣ аз массаи молӣ мутаносиби чаппа аст. Дар шароити нормалӣ коэффициентҳои диффузияи молекулаҳои оксиген ( $\langle \ell \rangle = 6 \cdot 10^{-8} \text{ м}$  ва  $\langle \vartheta \rangle \approx 500 \text{ м/с}$ )  $D \approx 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Байни коэффициентҳои интиқол дар газҳо чунин вобастагӣ вучуд дорад:  $D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle$ ,  $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle = \rho D$ ,  $\chi = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle C_v = \eta C_v$ . (5.5)

Ин вобастагиҳо нишон медиҳанд, ки моҳияти физикавии ҳодисаҳои интиқол дар газҳо яхела аст.

Барои ҳаво  $C_v = -\frac{5}{2} \frac{8,31}{29 \cdot 10^{-3}} = 716,4 \text{ Ҷ/(кг К)}$ .

Дар қадвали 5.3 барои баъзе газҳо дар шароити нормалӣ қиматҳои таҷрибавии диаметри эффективии молекулаҳо, часпакии динамикӣ ва гармигузаронӣ оварда шудаанд.

Қадвали 5.3

Диаметри эффективии молекулаҳо, часпакии динамикӣ ва гармигузаронии баъзе газҳо дар шароити нормалӣ

Модда	Диаметри эффективӣ, нм	Часпакии динамикӣ, мкПа с	Гармигузаронӣ, мВт/(м К)
Нитроген	0,38	16,6	24,3
Аргон	0,35	21,5	16,2

Гидроген	0,28	8,66	16,8
Ҳаво	-	17,2	24,1
Гелий	0,22	-	-
Оксиген	0,36	19,8	24,4
Буғи об	-	8,32	15,8
Хлор	0,45	-	-

### 5.3 Вақти релаксатсия

Дар натиҷаи ҳодисаҳои интиқол баробаршавии температура ва концентратсия ба амал меояд, яъне температура ва концентратсия бо гузашти вақт тағйир меёбанд. Агар система ба ҳоли худ бошад, температура ва концентратсия дар ҳама ҳаҷми зарф якгун мешавад. Чунин гузариширо протсе-си релаксатсия, ё ки кӯтоҳ релаксатсия меноманд (*relaxatio* – камшавии шиддат, сустшавӣ). Муддати вақте, ки майли бузургӣ аз бузургии ибтидоиаш  $e$  (2,718281828) маротиба кам мешавад, вақти релаксатсия меноманд.

Барои таҳлили чигунагии тағйироти температура ва концентратсия бо мурури вақт муодилаи гармигузаронӣ ва диффузияро, ки ба вақт вобаста бошад, ҳосил кардан лозим меояд.

Худдиффузияро, ки бо муодилаи (5.4) ифода меёбад, муҳокима менамоем. Ҳаҷми  $V$ -ро дар намуди силиндри масоҳати асосаш  $\Delta S$  ва баландиаш  $\Delta x$ , ки ба самти тири  $X$  равона аст, ҷудо мекунем.

Тағйироти адади молекулаҳо дар ҳаҷми силиндр бо гузаштани фосилаи вақти  $\Delta t$  баробар ба:

$$\Delta N_1 = \left[ I_{n_1} \left( x + \frac{\Delta x}{2} \right) - I_{n_1} \left( x - \frac{\Delta x}{2} \right) \right] \Delta S \Delta t \text{ аст.} \quad (5.6)$$

$I_{n_1}$  – ро ба қатори Тейлор паҳн карда, танҳо аъзоҳои ба  $\Delta x$  хаттиро ба назар мегирем:

$$I_{n_1} \left( x \pm \frac{\Delta x}{2} \right) = I_{n_1}(x) \pm \frac{\Delta x}{2} \frac{\partial I_{n_1}(x)}{\partial x} \quad (5.7)$$

ва ифодаи (5.6) намуди зеринро мегирад:

$$\Delta N_1 = - \frac{\partial I_{n_1}(x)}{\partial x} \Delta x \Delta S \Delta t. \quad (5.8)$$

Он гоҳ ҳангоми  $\Delta V \rightarrow 0$ ,  $\Delta t \rightarrow 0$  чунин таносуб ҷой дорад:

$$\lim_{\Delta V \Delta t} \frac{\Delta N_1}{\Delta V \Delta t} = \frac{\partial n_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial n_1}{\partial x} \right). \quad (5.9)$$

Ин ҷо  $\Delta V = \Delta x \Delta S$  ҳаҷми муоинашаванда. Азбаски  $D$  аз координата вобаста нест, ифодаи зерин ҷой дорад:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n_1}{\partial x^2}. \quad (5.10)$$

Ин муодилаи худдиффузия, ки ба вақт вобаста аст. Агар самти диффузия бо тири  $X$  ҳамсамт набошад,  $\Delta N_1$ -ро дар формулаи (5.6) ҳамчун суммаи саҳми ҳар як самт пиндошта, ба ҷои формулаи (5.10) ифодаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 n_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 n_1}{\partial z^2} \right) = D \nabla^2 n_1. \quad (5.11)$$

Ин ҷо

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (5.12)$$

-оператори Лаплас, ки онро  $\Delta = \nabla^2$  ҳам ишора мекунанд.

Бо ёрии муодилаи (5.11) тағйироти концентратсияро дар тамоми нуқтаҳои ҳаҷм омӯхтан мумкин аст, агар тақсимооти концентратсия дар ибтидои вақт (шарти ибтидоӣ) ва дар шароитҳои муайян дар ҳудуди ҳаҷм (шарти канорӣ) маълум бошад.

Барои муодилаи вобастагии гармигузарониро ба вақт ҳосил кардан ба ҷои сели молекулаҳо сели гармиро гирифтани кифоя аст. Он гоҳ ба ҷои (5.9) ҳангоми  $\Delta V \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$  таносуби зеринро ҳосил мекунем:

$$\lim \frac{\Delta Q}{\Delta V \Delta t} = \lim \frac{C_V \Delta m \Delta T}{\Delta V \Delta t} = C_V \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{\partial T}{\partial x} \right). \quad (5.13)$$

Ин ҷо  $\Delta Q = C_V \Delta m \Delta T$  – тағйироти миқдори гармӣ дар ҳаҷми  $\Delta V$  дар муддати вақти  $\Delta t$ ;  $C_V$  – гармиғунҷоиш хос ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм,  $\rho$  – зичии газ.  $\chi$  бо формулаи (5.2) муайян мешавад. Бо дар назардошти (5.5) муодилаи (5.13) намуди ба муодилаи (5.10) монандро мегирад:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (5.14)$$

Агар самти сели гармӣ бо тири  $X$  ҳамсамт набошад, чун (5.11) ҳосил мекунем:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = D \nabla^2 T. \quad (5.15)$$

Ҳангоми аз ҳолати мувозинатӣ майл кардани ягон бузургӣ аз ҳолати мувозинатӣ омилҳои пайдо мешаванд, ки системаро ба ҳолати мувозинатӣ бармегардонанд. Суръати наздикшавии бузургӣ ба қимати мувозинатиаш ба майл аз қимати мувозинатӣ мутаносиб аст. Бузургии чаппаи коэффисиенти мутаносиби вақти релаксатсия мебошад.

Бигузур бузургии муоинашаванда  $q$  ва қимати мувозинатиаш  $q_0$  бошад. Суръати наздикшавӣ чун:

$$dq/dt = (q_0 - q)/\tau. \quad (5.16)$$

ҳисоб меёбад. Ҳалли ин муодила намуди зеринро дорост:

$$(q - q_0) = (q - q_0)_{t=0} e^{-t/\tau}. \quad (5.17)$$

Ин ҷо  $(q - q_0)_{t=0}$  – бузургии майл аз қимати мувозинатӣ дар лаҳзаи ибтидоӣ вақт ( $t=0$ ) мебошад. Аз ин формула бармеояд, ки ҳангоми  $t = \tau$  будан, амплитудайи майл аз ҳолати мувозинатӣ  $e$  (2,71) маротиба кам мешавад.

Вақти релаксатсияро барои концентратсия меёбем. Фарз мекунем, ки дар ягон ҳаҷми андозаи хатиаи  $L$  ва ҳаҷмаш  $L^3$  концентратсия ё температура дар муҳити атроф фарқ мекунад. Он гоҳ аз сатҳи ҳаҷм ё сели гармӣ, ё сели зарраҳо мегузаранд, ки концентратсия ва температураро бо бузургии он дар атроф баробар менамояд.

Агар  $\langle \Delta n \rangle$  - майли миёнаи концентратсияи зарраҳо аз мувозинатӣ дар ҳаҷми  $V$  бошад, он гоҳ  $\langle \Delta n \rangle V$  - адади зарраҳои зиёдотӣ дар ҳаҷм назар ба адади зарраҳо дар зичии мувозинатии мувофиқ аст. Мавриди дар дохили ҳаҷм зарраҳои зиёдотӣ мавҷуд будан, сели зарраҳои аз сатҳи ҳаҷм-



ро ихотагир гузаранда мусбату ва манфӣ дар ҳоли камӣ. Тағйироти адади зарраҳо дар тӯли вақти  $dt$  дар дохили ҳаҷм:

$$d(\langle \Delta n \rangle V) = -\langle I_n \rangle S dt. \quad (5.18)$$

мебошад. Ин чо  $S$ - масоҳати сатҳе, ки ҳаҷмро маҳдуд мекунад,  $\langle I_n \rangle$  -сели миёнаи зарраҳо аз сатҳ. Агар  $L$ - андозаи хаттии соҳа бошад,  $\partial n / \partial x \sim \Delta n / L$  ва аз муодилаи (5.18) бармеояд, ки

$$\langle I_n \rangle = D \langle \Delta n \rangle / \langle L \rangle. \quad (5.19)$$

мебошад. Ин чо  $\langle L \rangle$  -андозаи хаттии миёнаи ҳаҷми  $V$  аст ва онро чунон интиҳоб мекунам, ки қимати сели миёнаи аз сатҳ гузаранда  $\langle I_n \rangle$ -и аз формулаи (5.19) муайяншаванда, боварибахш бошад. Ифодаи (5.19)-ро ба (5.18) гузошта таносуби зеринро ҳосил менамоем:

$$\frac{d\langle \Delta n \rangle}{dt} = [-SD / (V \langle L \rangle)] \langle \Delta n \rangle. \quad (5.20)$$

Ҳалли ин муодила чунин намуд дорад:

$$\langle \Delta n \rangle = (\langle \Delta n \rangle)_0 e^{-t/\tau}, \quad \tau = V \langle L \rangle / (SD). \quad (5.21)$$

Ин чо  $\langle L \rangle$  ба вақт вобаста нест. Агар  $\langle L \rangle$  ба вақт вобаста бошад, ҳалли муодилаи (5.20) чунин намуд мегирад:

$$\langle \Delta n \rangle = (\langle \Delta n \rangle)_0 \exp\left(-\frac{SD}{V} \int_0^t \frac{dt}{\langle L \rangle}\right). \quad (5.22)$$

Бузургии  $\tau = V \langle L \rangle / (SD)$  вақти релаксатсия мавриди мунтазам тақсимшавии концентратсия мебошад. Формулаи (5.21) имкон медиҳад, ки вобастагии вақти релаксатсия ба омилҳои гуногун таҳлил карда шавад. Азбаски  $V \sim L^3$ ,  $S \sim L^2$ , вақти релаксатсия  $\tau \sim L^2 / D$  мешавад. Яъне, вақти релаксатсия бо афзоиши андозаҳои геометрии соҳа зуд зиёд мешавад: ба коэффисиенти диффузия мутаносиби чаппа ҳисоб меёбад, ки бо он алоқаи  $\tau$  – ро бо фишор ва температураи газ муайян кардан мумкин аст.

Айнан ҳамин тавр барои вақти релаксатсия барои температура муодила ҳосил кардан мумкин аст, агар ба ҷои сели зарраҳо сели гармиро истифода барем. Вақти релаксатсия барои температура чунин намуд дорад:

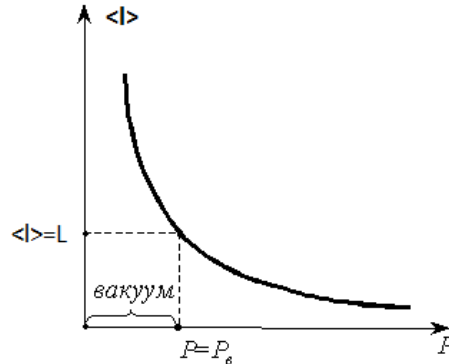
$$\tau_T = \rho C_V V \langle L \rangle / (\chi S).$$

#### 5.4 Ҳодисаҳои физикавӣ дар газҳои тунук

Дарозии миёнаи дави озоди молекула ба фишори газ мутаносиби чаппа аст, яъне бо пастшавии фишори газ меафзояд. Агар андозаи зарф ба дарозии роҳи дави озоди молекула баробар бошад, ин ҳолати газро вакуум меноманд. Дар фишори атмосферӣ  $P=10^5$  Па дарозии роҳи дави озод  $\langle l \rangle = 10^{-8}$  м, дар фишори  $P=10^{-3}$  Па бошад,  $\langle l \rangle = 1$  м мешавад. Дар ин маврид зарфи андозааш 1 м вакуум ба ҳисоб меравад. Ҷоришавии газро аз сурӯҳ дар шароити вакуум (бо таъсири фарқи фишорҳо) эффузияи газ меноманд.

Савияи вакуум	$P$ , Па	$n$ , $m^{-3}$
---------------	----------	----------------

$\langle l \rangle < L$ – паст	$\approx 133$	$\approx 10^{22}$
$\langle l \rangle = L$ – миёна	$\approx 0,133$	$\approx 10^{19}$
$\langle l \rangle > L$ – баланд	$\approx 1,33 \cdot 10^{-4}$	$\approx 10^{16}$
$\langle l \rangle \gg L$ – хеле баланд	$\approx 1,33 \cdot 10^{-11}$	$\approx 10^9$



Вакуум:  $\langle l \rangle = L \cdot P_e = \frac{kT}{\sqrt{2\pi}d^2L}$  - фишори вакуум.

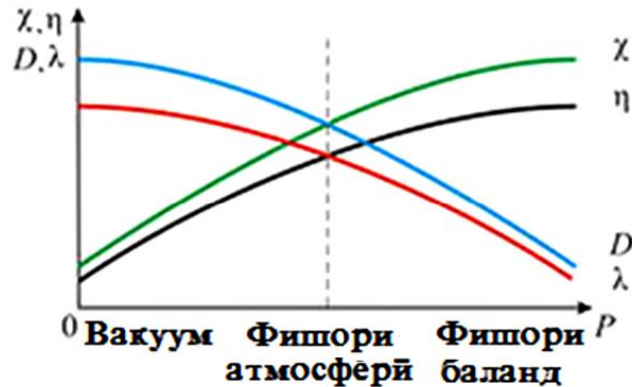
Дар айни замон методҳои ҳосил кардан ва ҳифзи вакуум дар ҳаҷмҳои зиёд қоркард шудааст. Техникаи вакуумӣ ба дастовардҳои назаррас до-рост. Масъалаи ба вучудории вакуум барои техника муҳим мебошад, чунки дар таҷҳизотҳои электронии муосир дастаҳои электроние истифода меша-ванд, ки танҳо дар шароити вакуум вучуд дошта метавонанд. Барои ҳосил намудани газҳои тунуқиашон гуногун аз насосҳои вакуумии дар расми 5.2 тасвирёфтаре истифода мебаранд, ки имконият медиҳад газҳои тунуқи ибтидоӣ (форвакуум) то  $\approx 0,13$  Па доштаре ҳосил намоянд, инчунин, бо насосҳои баландвакуумӣ фишори то 13,3 мкПа – 1,33 пПа ( $10^{-7}$  –  $10^{-14}$  мм . сут. сим.) –ро ба вучуд меоранд.



Расми 5. 2 Насосҳои вакуумии муосир. Аз чап насоси форвакуумӣ, аз рост насоси баландвакуумии магниторазрядӣ.

Барои газҳои ниҳоят тунук моҳияти ҳодисаҳои интиқол фарқ меку-над. Молекулаҳо бе барҳӯрд бо ҳамдигар аз як девори зарф то девори ди-гари он рафта мерасанд. Гармигузаронӣ аз ҳисоби молекулаҳо, ки аз де-вори гарм энергия гирифта ба девори сард медиҳанд, ба вучуд меояд. Аз ин сабаб, дар газҳои тунук коэффисиенти гармигузаронӣ ба фишор мутано-сиби роста аст. Дар газҳои тунук гармигузаронӣ нею гармидиҳӣ мушоҳида мешавад. Ин ҳодисаро дар зарфҳои Дюар истифода мебаранд. Дюар Чеймс

(1842-1923) физик ва химики шотландӣ аст, ки с. 1892 зарфери барои нигоҳдории газҳои моеъгардида ихтироъ намуд ва ин зарф ҳоло номи ӯро гирифтааст.



Расми 5.3 Вобастагии коэффитсиентҳои интиқол ба фишор

Соиши дохилӣ на аз ҳисоби ҳаракати қабатҳои газ, балки аз ҳисоби ҳаракати деворҳои зарф пайдо мешавад. Молекулаҳо ҳангоми бархурд аз як қабати ҳаракатманд ба дигараш импульс интиқол медиҳанд, дар натиҷа пластинаи сустҳаракат тезу тезҳаракат суст мешавад. Тағйироти импульс дар воҳиди вақт қувваи соишро муайян мекунад.

Азбаски консентратсияи молекулаҳо ниҳоят кам аст, диффузия ниҳоят зуд ба амал меояд.

Баъзе ҳодисаҳои физикавино, ки танҳо хоси газҳои тунук мебошанд, таҳлил менамоем.

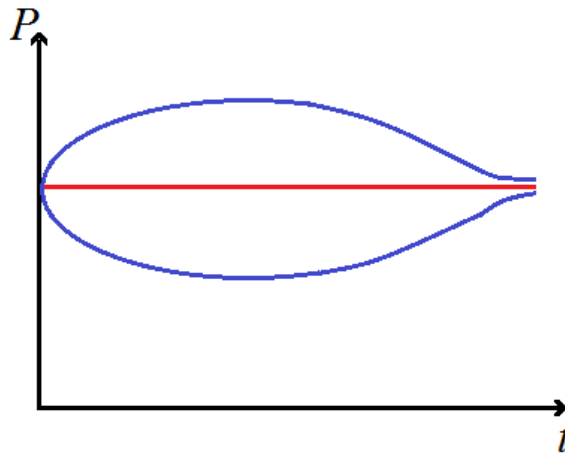
Бигзор зарфе, ки бо ягон қабати ковок тақсим шудааст ва дар он қисмҳо фишор  $P$  ва температура  $T$  нобаробар бошад. Андозаҳои сӯроҳиҳо чунон хурданд, ки барои онҳо шартҳои вакуум иҷро мешавад. Агар система дар мувозинатӣ бошад, сели молекулаҳои, ки аз чап ба рост ва аз рост ба чап мегузаранд, баробаранд:  $\frac{1}{4}n_1 \langle g_1 \rangle S_{\phi} = \frac{1}{4}n_2 \langle g_2 \rangle S_{\phi}$ .

$S_{\phi}$  масоҳати эффективии суроҳиҳо мебошад. Аз ин рӯ таносубҳои зерин ҷой доранд:

$$n_1 \langle g_1 \rangle = n_2 \langle g_2 \rangle, \quad \frac{P_1}{kT_1} \sqrt{\frac{8RT_1}{\pi M}} = \frac{P_2}{kT_2} \sqrt{\frac{8RT_2}{\pi M}} \quad \text{ё ки} \quad \frac{P_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{P_2}{\sqrt{T_2}}.$$

Дар фишорҳои нормалӣ дар ҳар ду тараф температураи газ тез баробар мешавад. Дар газҳои тунук дар қисми гармтар фишор зиёду дар қисми сардтар аст, фишор ҳам кам аст. Ин падидаҳо таҷрибавӣ Рейнолдс муқаррар намудааст.

Агар ба ҷои як газ ду газро дар температураи баробар гирем, вобастагии фишор ба вақт мушоҳида мешавад. Агар яке гази сабуку дигараш вазнин бошад, молекулаҳои гази сабук суръати калонтар доранд. Аз ин рӯ аз ҷои гази сабук воқеъбуда ба ҷои гази вазнин ҷойгирбуда молекулаҳо зиёдтар мегузаранд. Дар ҷои гази вазнин буда фишор меафзояду дар ҷои гази сабук он кам мешавад.

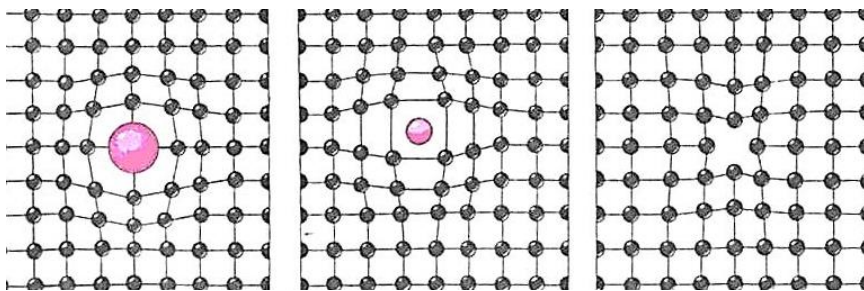


Расми 5.4

Ин ҳол то он даме идома меёбад, ки сели молекулаҳои аз ҳарду тараф гузаранда баробар шавад ва аз ҷои молекулаҳои вазнинтар ба ҷои молекулаҳои сабук зиёдтар молекулаҳо мегузаранд. Фишори тарафи гази сабук афзуда фишори тарафи гази вазнин ба камшавӣ сар мекунад. Ин процесс то даме давом мекунад, ки система ба ҳолати аввала баргардад (расми 5.4).

### 5.5 Ҳодисаҳои интиқоли дар ҷисмҳои сахт

1) Диффузия. Атомҳо дар панҷараи кристалӣ қатъиян ботартиб ҷойгир шудаанд. Дар кристалҳо дефектҳои гуногун ҷой дошта метавонанд (расми 5.5). Дефект ё худ нуқсони кристал гуфта вайроншавии структураи кристалии идеалиро мефаҳманд. Чунин вайроншавӣ дар набудани атом дар ғиреҳи озоди панҷара (вакансия), дар ивазшавии атоми моддаи муайян бо атоми бегона (атоми ғашӣ), бо ҷойгирии атомҳои зиёдтӣ (худӣ ё бегона) дар фазои байни ғиреҳҳо ифода меёбад. Чунин дефектҳоро нуқтагӣ меноманд. Онҳо дурустии панҷараро дар масофаи якчанд давр вайрон менамоянд. Ғайр аз ин дефекти нуқтагӣ боз дефектҳои мавҷуданд, ки дар наздикии ягон хат ҷамъ омадаанд. Онҳоро дефектҳои хатгӣ, ё ки дислокатсия меноманд. Дефектҳои ин намуд пай дар пайи дурусти қабатҳои кристалиро вайрон менамоянд. Намудҳои соддатарини дислокатсия дислокатсияҳои канорӣ ва винтӣ мебошанд.



Расми 5.5 Намудҳои дислокатсия дар ҷисмҳои сахт

Дефектҳо ба хосиятҳои физикавии кристалҳо, аз ҷумла ба мустаҳкамии онҳо таъсири зиёд мерасонанд.

Агар панҷараи кристалӣ дорои дефекте, масалан баъзе гиреҳо ҳолӣ бошанд, он гоҳ атом аз гиреҳи ҳамсоя ҷаҳида ба ҷои ҳолӣ мегузарад, дар натиҷа, ҳаракати ҷойҳои ҳолӣ ба амал меояд. Дарозии миёнаи дави озоди атом ба даври панҷара  $\langle d \rangle$  баробар аст. Ба самти муайян  $\frac{1}{6}$  хиссаи атомҳо ҳаракат мекунанд:  $D = \frac{1}{6} \langle g \rangle \langle d \rangle$ . Агар умри миёнаи атом дар панҷара  $\langle \tau \rangle$  бошад,  $\langle g \rangle = \frac{\langle d \rangle}{\langle \tau \rangle}$  ва  $D = \frac{1}{6} \frac{\langle d \rangle^2}{\langle \tau \rangle}$  мешавад.

Барои он ки атом ба ҷои ҳолӣ ҷаҳида гузарад, бояд ин ду шарт иҷро шавад: 1) вучудияти ҷойи ҳолӣ, 2) атоми ҳамсоя дорои ҷунун энергия бошад, ки ба ҷойи ҳолӣ ҷаҳида гузашта тавонад.

Мувофиқи тақсимои Гаусс эҳтимолияти пайдошавии ҷойи ҳолӣ  $P(x) = A_1 e^{-\frac{E_x}{kT}}$  мебошад. Эҳтимолияти, ки баъди ҷойи ҳолӣ пайдо шудан атоми ҳамсоя ба он ҷой меҷаҳад:

$$P(x/\text{ч}) = A_2 \exp(-\frac{E_\phi}{kT}).$$

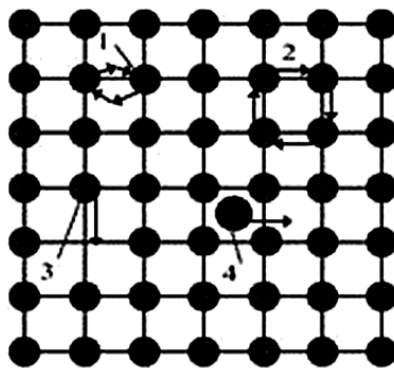
аст. Мувофиқи теоремаи зарби эҳтимолиятҳо:

$$P(D) = P(x)P(x/\text{ч}) = A_1 A_2 \exp(-\frac{E_x + E_\phi}{kT}) \quad P(D) = A e^{-\frac{E_x + E_\phi}{kT}} = A e^{-\frac{E_\phi}{kT}}.$$

$E_\phi$ -ро энергияи фаъолшавии диффузия меноманд. Ин эҳтимолият ба вақти гузариш мутаносиби чаппа аст:  $\langle \tau \rangle = \frac{1}{P(D)}$  ва

$$D = \frac{\langle d \rangle^2}{6} A \ell^{-\frac{E_\phi}{RT}} = D_0 \ell^{-\frac{E_\phi}{RT}}; \quad (5.23)$$

ин ҷо  $D_0 = \frac{A \langle d \rangle^2}{6}$ . Ин ифода формулаи коэффисиенти диффузия дар ҷисмҳои сахт мебошад. Қимати коэффисиенти диффузия дар ҷисмҳои сахт ниҳоят кам аст. Барои газҳо  $10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с буда, барои ҷисмҳои сахт, масалан, тилло  $10^{-35}$  м<sup>2</sup>/с мебошад. Дар ҷадвали 5.4 бузургии  $D_0$  ва  $E_\phi$  барои баъзе ҷуфти элементҳо ва дар расми 5.6 механизмҳои маъмули диффузияи атомҳо дар кристалҳо оварда шудаанд.



Расми.5.6 Механизмҳои маъмули диффузияи атомҳо дар кристалҳо: 1 – ҷояшонро иваз кардани ду атоми ҳамсоя; 2 - ҷояшонро иваз кардани якҷанд

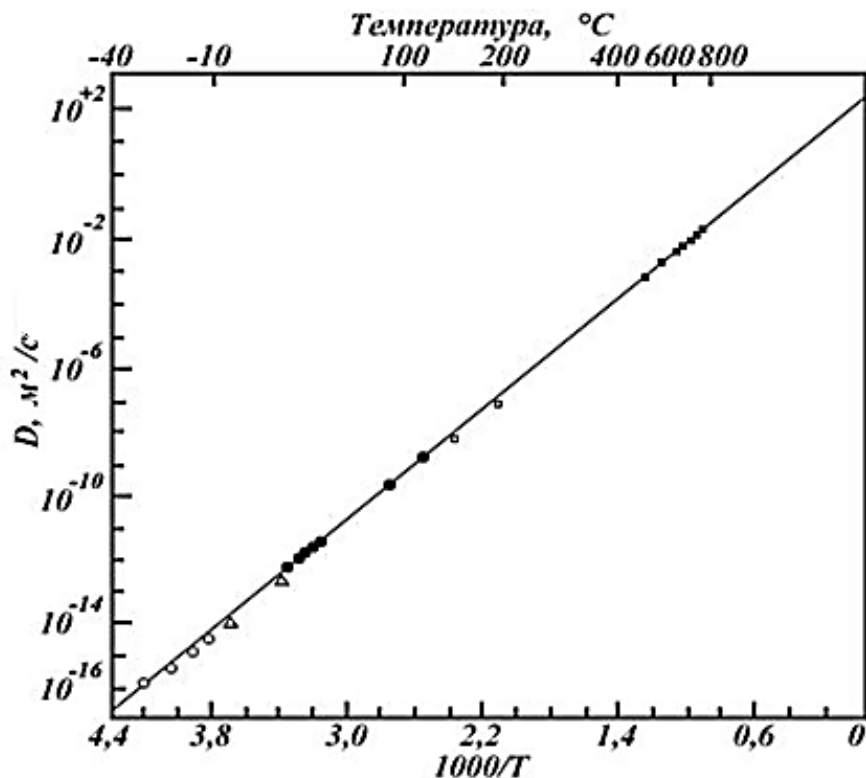
атоми ҳамсоя ; 3 – ҷаҳиши атом ба ҷойи холӣ (вакансия); 4 - ҷаҳиши атомҳои байни гиреҳҳо ба байни гиреҳҳои ҳамсоя.

Ҷадвали 5. 4

Параметрҳои  $D_0$  и  $E_\phi$  дар формулаи (5.23) барои баъзе ҷуфти элементи диффузияшаванда- модда:

Элементҳо	$D_0$ , м <sup>2</sup> /с	$E_\phi$ , эВ
Ge дар Ge	$7,8 \cdot 10^{-4}$	3,0
As дар Ge	$6,0 \cdot 10^{-4}$	2,5
P дар Ge	$2,0 \cdot 10^{-4}$	2,5
In дар Ge	$6,0 \cdot 10^{-6}$	2,5
B дар Ge	$4,0 \cdot 10^{-4}$	4,5
Cu дар Al	$2,3 \cdot 10^{-4}$	1,45
Cu дар Cu	$2,0 \cdot 10^{-5}$	2,05
Zn дар Cu	$3,4 \cdot 10^{-5}$	1,98
C дар Fe	$2,0 \cdot 10^{-5}$	0,9
U дар U	$1,8 \cdot 10^{-7}$	1,20

Дар расми 5.7 вобастагии коэффисиенти диффузияи карбон дар оҳан ба температура тасвир ёфтааст. Аз расм хувайдост, ки таносуби (5.23) дақиқ иҷро мешавад.



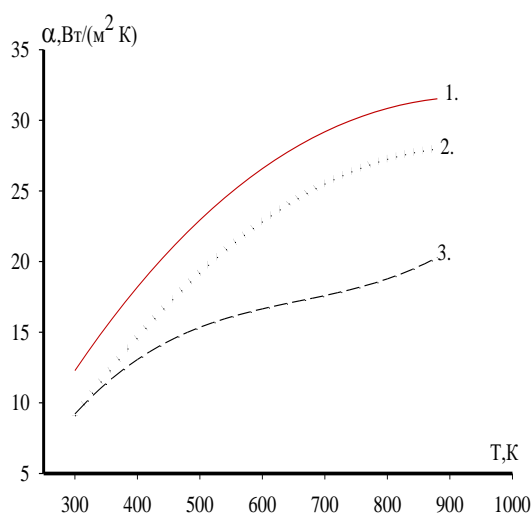
Расми 5.7

2) Гармигузаронӣ. Барои фаҳмонидани моҳияти гармигузаронӣ дар ҷисмҳои саҳт фарз мекунамд, ки дар он фононҳо мавҷуданд. Дар онҳо аз

ҳисоби таъсири мутақобила гармигузаронӣ ба амал меоянд ва аз ин рӯ суръати гузариши энергия ба суръати садо баробар аст. Дар температураҳои баланд ва ниҳоят паст сахми гармигузаронии электронҳо дар ҷисмҳои сахт назар ба гармигузаронӣ аз ҳисоби панҷараи кристалӣ хеле зиёд мебошанд. Ҳамин аст, ки гармигузаронии ҷисмҳои сахт назар ба газҳо миллионҳо маротиба зиёд мебошад. Коэффициенти гармигузаронӣ:  $\chi = \frac{1}{3} \rho v_{\text{садо}} \langle d \rangle C_v$  аст. Таҷрибавӣ муайян карда шудааст, ки дарозии дави озоди фононҳо ба температура мутаносиби чаппа мебошад:  $\langle \ell_{\phi} \rangle = \frac{\text{const}}{T}$ .

Дар температураҳои паст ва баланд дар гармигузаронии металлҳо электронҳо саҳмгузоранд. Дар температураҳои муътадил бошад, сахми гармигузаронии панҷараи кристалӣ дар ҷисмҳои сахт зиёд аст. Коэффициенти гармигузаронии ҷисмҳои сахт тақрибан ба  $\chi \sim 1 \frac{\text{кВт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  баробар ва нисбат ба коэффициенти гармигузаронии газҳо, ки  $\chi \sim 1 \frac{\text{мВт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  аст, ниҳоят зиёд мебошад. Коэффициенти гармигузаронии нуқра- 420 Вт/(м·К), мис-380 Вт/(м·К), мармар- 3,14 Вт/(м·К), бетон-1,28 Вт/(м·К), хишт-0,7-0,9 Вт/(м·К), ях- 0,04-0,05 Вт/(м·К) ва пахта- 0,039 Вт/(м·К) буданашон таҷрибавӣ муқаррар карда шудаанд.

Агар температураи ҷисми сахт назар ба температураи муҳити атроф баланд бошад, он оҳиста-оҳиста хунук мешавад, ки ин ҳодисаро гармигузаронии берунӣ меноманд:  $Q = \alpha(T - T_0)S\tau$ . Ин ҷо  $\alpha$ - коэффициенти гармидиҳӣ, ки онро таҷрибавӣ муайян намудан мумкин аст. Дар расми 5.8 вобастагии коэффициенти гармидиҳӣ ба температура барои мис, алюминий ва руҳ тасвир шудааст.



Расми 5. 8 Вобастагии коэффициенти гармидиҳии ( $\alpha$ ) мис (1), алюминий маркаи А5N (2) ва руҳ (3) ба температура T

Дар ҷадвали 5.5 бузургҳои таҷрибавии коэффисиенти гармигузаронӣ, адади Лоренс барои баъзе металлҳо оварда шудаанд.

Ҷадвали 5.5

Бузургҳои таҷрибавии коэффисиенти гармигузаронӣ, адади Лоренс барои баъзе металлҳо				
Элемент	273 К		373 К	
	$\chi$ , Вт/см·К	$\chi/\sigma T$ , $10^8$ Вт·Ом/К <sup>2</sup>	$\chi$ , Вт/см·К	$\chi/\sigma T$ , $10^8$ Вт·Ом/К <sup>2</sup>
Li	0.71	2.22	0.73	2.43
Na	1.38	2.12		
K	1.0	2.23		
Rb	0.6	2.42		
Cu	3.85	2.20	3.82	2.29
Ag	4.18	2.31	4.17	2.38
Au	3.1	2.32	3.1	2.36
Be	2.3	2.36	1.7	2.42
Mg	1.5	2.14	1.5	2.25
Nb	0.52	2.90	0.54	2.78
Fe	0.80	2.61	0.73	2.88
Zn	1.13	2.28	1.1	2.30
Cd	1.0	2.49	1.0	
Al	2.38	2.14	2.30	2.19
In	0.88	2.58	0.80	2.60
Ti	0.5	2.75	0.45	2.75
Sn	0.64	2.48	0.60	2.54
Pb	0.38	2.64	0.35	2.53
Bi	0.09	3.53	0.08	3.35
Sb	0.18	2.57	0.17	2.69

### 5.6 Ҳодисаҳои интиқол дар моеъҳо

Диффузия дар моеъҳо аз ҳисоби ҷаҳиши молекулаҳо аз як мавқеи мувозинатӣ ба дигараш ба амал меояд. Агар  $\langle \tau \rangle$  вақти миёнаи дар як ҳолати мувозинатӣ (муқимӣ) будани молекула ва  $\langle \Delta \rangle$  масофаи миёнаи ҷаҳиш бошад, чунин таносубҳо ҷой доранд:

$$D = \frac{1}{6} \frac{\langle \Delta \rangle^2}{\langle \tau \rangle}, \quad D = D_0 e^{-\frac{E_D}{KT}},$$

ки дар ин ҷо  $E_D$ -энергияи фаъолшавии диффузия мебошад.

Ба монанди ҷисми сахт вақти дар ҳолати мувозинатӣ будани молекула ба эҳтимолияти ҷаҳиш мутаносиби чаппа ҳисоб меёбад ва коэффисиенти диффузия  $D = D_0 \ell^{-\frac{E_\phi}{RT}}$  мешавад. Аз ҷадвали 5.6 бармеояд, ки коэффисиенти



диффузия дар моеъҳо назар ба қисмҳои сахт зиёду нисбат ба газҳо кам, анқариб  $D \sim 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  мебошад.

Ҷадвали 5.6

Моддаи диффузияшаванда	Компоненти асосӣ	Температура, °С	D, м <sup>2</sup> /с
Гидроген (газ)	Оксиген (газ)	0	$0,70 \cdot 10^{-4}$
Буғҳои об	Ҳаво	0	$0,23 \cdot 10^{-4}$
Намаки ошӣ	Об	20	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Тилло (сахт)	Сурб (сахт)	20	$4 \cdot 10^{-14}$
Сурб (сахт)	Сурб (сахт)	285	$7 \cdot 10^{-15}$

Гармигузаронӣ аз ҳисоби ҳамтаъсири молекулаҳо ба амал меояд. Гармигузаронии моеъҳо назар ба қисмҳои сахт кам, вале назар ба газҳо зиёд аст. Фақат металлҳои моеъ гармигузаронии зиёд доранд. Гармигузаронии об – 0,5-0,7 Вт/(м·К), спирти этилӣ- 0,18-0,19 Вт/(м·К) ва глицерин – 0,3 Вт/(м·К) мебошанд.

Часпакии моеъҳо аз ҳисоби таъсири мутақобилаи молекулаҳо ба вучуд меояд. Агар ҳақиқи молекулаҳо ҳамчун газҳо ба самти ҳаракат перпендикуляр ҳисобем, формулаи  $\eta = \eta_0 e^{-\frac{E}{RT}}$  - ро ҳосил мекунем, яъне бо зиёд шудани температура соиши дохилӣ (часпакӣ) афзуданаш лозим. Таҷриба нишон медиҳад, ки бо баландшавии температура часпакии моеъҳо кам мешавад. Мувофиқи идеяи Френкел, чунин ҳисобидан даркор аст, ки молекулаҳо на ба самти градиенти суръат перпендикуляр, балки ба самти суръат муқобил мечаҳанд. Дар ин маврид вобастагии коэффисиенти часпакӣ ба температура чунин мешавад:  $\eta = \eta_0 e^{\frac{E_a}{RT}}$ . Ин ҷо  $E_a$  – энергияи активатсияи (фаъолшавии) часпакӣ аст.

Таҷрибавӣ муқаррар кардаанд, ки часпакии глицерин дар интервали аз 0 °С то 18 °С қариб 3 маротиба, рағғани чалғӯза (касторӣ) дар интервали 18-40°С ба қадри 4 маротиба кам мешавад. Барои муқоиса дар ҷадвали 5.7 часпакии баъзе моеъҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 5.7

Часпакии баъзе моеъҳо дар  $p_0 = 1 \text{ атм}$ ,  $t_0 = 20 \text{ °С}$

Моеъ	$\eta$ , 10 <sup>-3</sup> Па с	Моеъ	$\eta$ , 10 <sup>-3</sup> Па с
Об	1,006	Рағғани трансформаторӣ	19,8
Глицерин	1490	Симоб	1,554
Рағғани касторӣ	987	Спирти этилӣ	1,20
Рағғани сабуки мошинӣ	113	Керосин	1,8
Рағғани вазнини мошинӣ	660	Бензин	0,65

## 5.7 Худмураттабӣ дар системаҳои кушод. Синергетика.

Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки мафҳуми системаи маҳдуд ва ё изолятсияшуда мафҳуми абстрактӣ буда, дар табиат системаҳо бо муҳити атроф робита доранд. Бинобар он дар термодинамикаи муосир ба ҷойи мафҳуми системаи маҳдуд мафҳуми системаи кушодро дохил намуданд, ки он бо муҳити атрофаш дар мубодилаи модда, энергия ва информатсия буда метавонад. Мафҳуми системаи кушодро аввалин шуда физики австриягӣ Эрвин Шредингер (1887-1961) дар китоби худ «Ҳаёт чист? Аз диди физик» истифода намудааст.

Протсессҳои худмураттабиро дар лазерҳо физики немис Герман Ҳакен омӯхта равияи нави тадқиқотҳоро «синергетика» номид, ки калимаи юнонӣ буда, маънояш амали якҷоя (кооперативӣ) ва ё таъсири муштарак мебошад. Мисоли дигари протсеси худмураттабӣ реаксияи химиявии Белоусов-Жаботинский мебошад. Реаксияи мазкур дар натиҷаи аз берун ворид гаштани моддаҳои нав ва ба муҳити атроф бароварда шудани маҳсули реаксия амалӣ мегардад. Худмураттабӣ дар ин реаксия бо пайдошавии мавҷҳои даврашакл дар муҳити моеъ ва ё тағйири ранги маҳлул (аз қабуд то сурх ва баръакс) зоҳир мегардад. Дар асоси ин таҷриба Иля Пригожин модели назариявии протсеси худмураттабиро пешниҳод намуд, ки Брюсселятор (ба шарафи пойтахти Белгия-Брюссел) ном гирифтааст. Модели мазкур асоси тадқиқотҳои термодинамикаи ғайримувозинатӣ ва ё ғайрихаттӣ гаштааст.

Термодинамикаи ғайрихаттӣ системаҳои кушодро, ки дур аз ҳолати мувозинатианд, меомӯзад. Дар ин гуна системаҳо алоқаи байни сел ва қувваҳои термодинамикӣ ғайрихаттианд. Баръакси ситемаҳои маҳдуд байни системаҳои кушод бо ҷисмҳои атроф мубодилаи модда, энергия ва информатсия ба амал меояд. Системаҳои кушод макроскопӣ мебошанд, яъне аз адади ниҳоят зиёди объектҳои структуравӣ, ки онҳоро элементарӣ қабул менамоянд, иборат аст. Муқаррар карда шудааст, ки дар соҳаҳои номувозинатии ғайрихаттӣ системаҳои кушод қобилияти инкишофёбӣ доранд, яъне худ аз худ структураҳои устуворро ба вуҷуд меоранд, худмураттабӣ ба амал меояд. Ҳакен барои чунин протсессҳои худмураттабӣ термини умумии «синергетика» ( аз юнонӣ амали якҷоя, кооперативӣ)-ро пешниҳод намудааст. Моҳияти физикавии синергетика дар он аст, ки соҳаҳои ғайрихаттӣ дур аз ҳолати мувозинатии система устувориашонро гум менамоянд ва флуктуатсияҳои кам ба тартиби нав ҳаракати якҷояи зарраҳои зиёдро меоранд.

Дар системаҳои кушод, аз мувозинатӣ дур, дар соҳаи ғайрихаттӣ принципи «номувозинатӣ» манбаи ботартиби амалӣ мегардад. Энтропия, ки меъёри бетартибиро нишон медиҳад, дар системаҳои кушод бо мурури вақт метавонад кам шавад, чунки система бо системаҳои атроф алоқа дорад. Системаҳои кушод энергияи аз манбаъҳои беруна гирифтаашро ба термостат медиҳаду энергияи дохилисистемавиро зиёд менамояд, яъне  $\frac{dS_i}{dt} > 0$ . Аммо агар система энтропияро ба муҳити беруна гузаронад, яъне чамъшавандаи сели энтропия манфӣ аст:

$$\frac{dS_e}{dt} < 0.$$

Агар

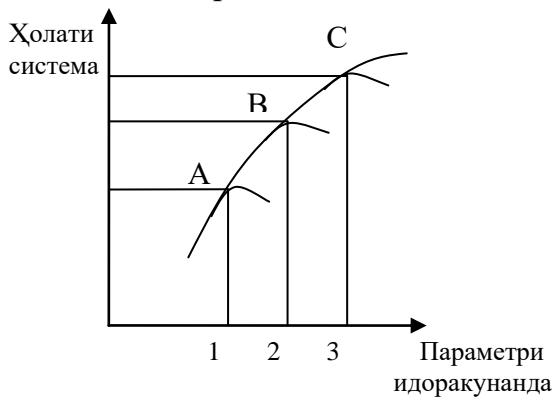
$$\left| \frac{dS_e}{dt} \right| > \left| \frac{dS_i}{dt} \right|$$

бошад, он гоҳ энтропияи пурраи системаи кушод кам мегардад. Чунин система фаъол, яъне дорои қобилияти худмураттаби мешавад. Дар муҳити фаъол флукуатсияи устувор пайдо мешавад, ки манбаи ба вучуд омадани структураи нав мегардад.

Структураҳои дар натиҷаи худмураттабии системаҳои кушоди ғайрихаттӣ пайдошавандаро Пригожин диссипативӣ номид. Эффеќти бавучудоии структураҳои диссипативиро ҳамчун гузариши фазагии кинетикӣ тасниф менамоянд. Агар гузаришҳои фазагии термодинамикии классикӣ (гудозиш, сахтшавӣ) дар масшави атомӣ ба амал оянд гузаришҳои фазагии кинетикии системаҳои мураккаб макромасшавро дарбар мегиранд. Схемаи шохаи термодинамикии инкишофи системаҳои кушод дар расми 5.25 оварда шудааст. Нуқтаҳои 1,2,3 бузургҳои ҳадди параметри идоракунанда мебошанд, ки ҳангоми ба он расидан системаи кушод устувории динамикиашро гум менамояд (ҳолатҳои А,В,С).

Ҳолатҳои ноустувори А,В,С-ро бифуркатсия (аз лот. bifurcus – дучандшавӣ, тақсимшавӣ) меноманд. Дар нуқтаи бифуркатсия система ба сигналҳои сусти аз онҳо бавучудоии структураҳои диссипативӣ, яъне роҳи ояндаи инкишофи система вобаста аст, ҳасос мегардад. Байни нуқтаҳои бифуркатсия дар система қонунҳои детерминистӣ (аз лот. determinare – муайянкунанда, боис шудан) иҷро мешаванду дар наздикии нуқтаҳои бифуркатсия нақши асосиро флукуатсия ва қонунҳои эҳтимолятӣ мебошанд (расми 5.26).

Термодинамикаи ғайрихаттӣ ҳолати қонуни дуҷоми термодинамикаро ба таври пурра тағйир медиҳад. Ин



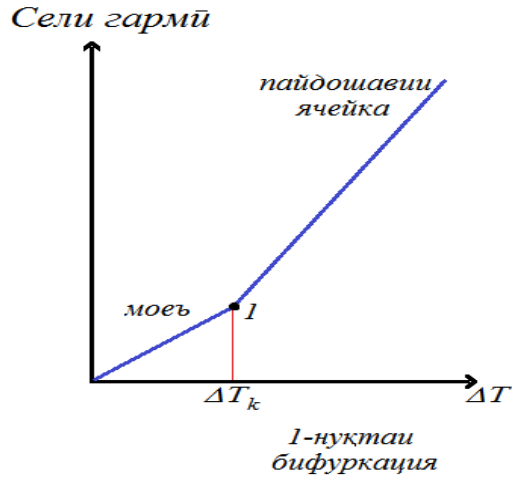
Расми 5.25

қонун на танҳо вайроншавии структураро дар протсессҳои бебозгашт дар наздикии ҳолати мувозинатӣ, балки пайдошавии структураро дар протсессҳои бебозгашти аз мувозинатии системаи кушод дурро низ муайян менамояд.

Протсеси гузариши «устуворӣ - ноустуворӣ - устуворӣ» чунин амалӣ мешавад: дар ибтидо системаи диссипативии устуворбуда дар протсеси эволютсия ба ҳадди ноустуворӣ мерасад ва ба ларзидан сар менамояду флукуатсияҳои дар он пайдошуда ба худмураттабии нави структураи диссипативӣ дар сатҳи иерархии (азюн. hierarchia – ҷойгиршавии қисмҳо аз

боло ба поён, мувофиқи тобеият аз боло ба поён) додашуда зиёдтар устувор меорад.

Пайдошавии структураҳои диссипативӣ бо вайроншавии спонтани (худ аз худ) симметрия ва пайдошавии структураи нисбат ба ҳолати фазогӣ якҷинсаи дараҷаи симметрияш паст вобаста аст.

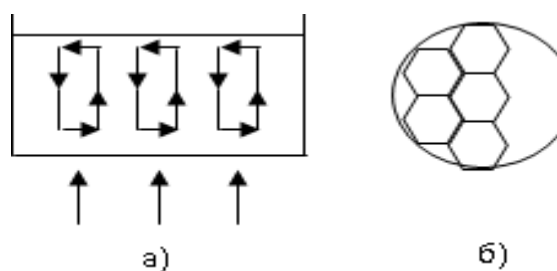


Расми 5. 26

Ба сифати мисол, пайдошавии ячейкаи Бенарро муоина менамоем. Агар қабати горизонталӣ моеъи часпакро аз поён ниҳоят гарм намоем градиенти температура пайдо мешавад. То ягон бузургии градиенти температура интиқоли гармиро аз поён ба боло гармигузаронӣ идора менамояд ва система ҳолати статсионариашро нигоҳ медорад. Аммо ҳангоми фарқи температура аз критикӣ ба қадри  $\Delta T_k$  зиёд шудан дар моеъ механизми нави интиқоли гармӣ – конвексия пайдо мешавад. Моеъи хунук ба поён мефурояду гармаш ба боло мебарояд. Дар ин маврид моеъ худ аз худ ба ячейкаҳои гексагоналӣ ҷудо мешавад, ки омухонаро ба хотир меорад. Структураи диссипативии нави моеъ пайдо мешавад.

Дар системаҳои аз ҷиҳати химиявӣ ғайриҷинса намуди махсуси худмураттабӣ мушоҳида мешавад, ки ба тағйироти даврии концентратсияи моддаҳои таъсирона меорад ва ин тағйиротҳо бо мурури вақт ва ҳам дар фазо ба вучуд меоянд.

Схемаи бавучудоии ячейкаҳои Бенар дар моеъҳои часпак дар расми 5.27 тасвир ёфтааст: а) намуд дар буриш; б) намуд аз боло.



Расми 5.27

Шартҳои пайдоиш ва хосиятҳои структураҳои худмураттабӣ инҳоянд:

Системаи термодинамикӣ бояд кушод ва аз ҳолати мувозинатии термодинамикии худ дур бошад. Майл аз ҳолати мувозинатӣ ба ягон бузургии худудӣ зиёд бошад. Системаҳои кушод маҳдуд буда наметавонанд, зеро онҳо бояд аз берун моддаи нав ва энергияи тоза гирифта, модда ва энергияи истифода шударо хориҷ намоянд.

Протсессҳои макроскопии худмураттабӣ мувофиқ (кооперативӣ, когерентӣ) ба амал меоянд. Дар баробари ба система ворид гаштани энергия ва ё моддаи нав номувозинатӣ дар он меафзояд. Дар натиҷа робитаҳои ҳамдигарии пештараи байни элементҳои система канда мешаванд ва байни онҳо робитаҳои нав пайдо мешаванд ва ин робитаҳо ба протсессҳои кооперативӣ, ё худ рафтори коллективонаи элементҳои система меоварад.

Бар хилофи системаҳои маҳдуд (изолятсияшуда) системаҳои кушод бо муҳити атроф дар мубодилаи энергия, модда ва информатсия мебошанд. Кулли системаҳои реалӣ системаҳои кушоданд. Дар табиати ғайризинда (ғайриорганикӣ) байни системаи додасуда ва муҳити атроф мубодилаи модда ва энергия ҷой дорад. Дар системаҳои биологӣ ва иҷтимоӣ ба ин мубодилаҳо мубодилаи информатсионӣ низ илова мешавад.

Худмураттабӣ аз ҳисоби интиқоли энтропия ба муҳити беруна ва диссипатсияи энергияи додасуда ба амал меояд. Дар системаҳои кушод низ энтропия тавлид меёбад, зеро дар ин гуна системаҳо ҳам протсессҳои бебозгашт ба амал меоянд, вале энтропия ҷамъ нагардида, балки ба муҳити атроф бароварда мешавад. Бинобар он дар системаҳои кушод ҳеҷ гоҳ энтропия ба қимати максималии худ соҳиб гашта наметавонад.

Пайдоиши мураттабии фазогӣ ва вақтӣ ба гузариши фазагӣ монанд аст.

Гузариши системаи диссипативӣ ба ҳолати мураттабӣ дар натиҷаи ноустувории ҳолати мураттабии аввала дар нуқтаи бифуркатсия амалӣ мешавад.

Худмураттабӣ дар натиҷаи флукуатсия то сатҳи макроскопӣ ба амал меояд, яъне флукуатсияҳо ба мурури замон пурзӯр гашта, дар ниҳоят, ба вайроншавии тартиби пешина ва пайдоиши тартиби нав боис мешаванд.

Протсессҳо бо ҳамон тартибе ба амал меоянд, ки барои ифодаи онҳо модели математикии ғайрихаттӣ лозим мешавад. Алоқаҳои ғайрихаттии тағйирёбандаҳо ба пурқувватшавии ошӯбҳои кам меоварад.

Дар нуқтаи бифуркатсия (душоҳашавӣ) ба кадом самт ташаккулёбии системаро пешгӯӣ намудан номумкин аст, чунки ҳолат номувозинатӣ мешавад ва ё ба сатҳи баландтар мегузарад.

### Намунаи ҳалли масъалаҳо

5.1. Ҳисоб кунед, ки кадом ҳиссаи молекулаҳои газ: а) масофаи назар ба дарозии дави озоди он  $\langle l \rangle$  зиёдро бе бархӯрд тай мекунад; б) дарозии дави озодашон дар ҳудуди  $\langle l \rangle$  то  $\langle 2l \rangle$  ҷойгир аст.

Ҳал: а)  $x = \langle l \rangle$ ;  $p = e^{-1} = \frac{1}{e} = 0,37$ .

б)  $p = e^{-1} - e^{-2} = 0,23$ .

5.2. Бигузур  $\alpha dt$  эҳтимолияти бархӯрди молекулаҳои газ дар муддати вақти  $dt$  бошад ( $\alpha$ -доимӣ). Муайян намоед: а) эҳтимолияти он, ки молекула дар муддати вақти  $t$  барнамеҳӯрад; б) вақти миёнаи бархӯрдҳо.

Ҳал: а)  $p(t + dt) = p(t)(1 - \alpha dt)$ ;  $\frac{dp}{dt} = -\alpha p(t)$ ;  $p(t) = e^{-\alpha t}$ ;  $p(0) = 1$ .

б)  $\langle t \rangle = \frac{\int_0^{\infty} t e^{-\alpha t} dt}{\int_0^{\infty} e^{-\alpha t} dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{\Gamma(2)}{\Gamma(1)} = \frac{1}{\alpha}$ .

5.3. Дарозии миёнаи дави озод ва вақти миёнаи байни бархӯрди молекулаҳои гази нитрогенро дар ҳолатҳои зерин муайян намоед: а) дар шароити нормалӣ, б) дар температураи  $0^\circ\text{C}$  ва фишори  $0,1\text{нПа}$ .

Ҳал: а)  $\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} = 6,2 \cdot 10^{-8}\text{м}$ ;  $d = 0,37\text{нм}$ .

$$\langle \tau \rangle = \frac{\langle l \rangle}{\langle v \rangle} = 1,36 \cdot 10^{-10}\text{с} = 0,13\text{нс}$$

б)  $\langle l \rangle = 6\text{Мм}$ ;  $\langle \tau \rangle = 3,8\text{соат}$ .

5.4. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои гази нитроген дар шароити нормалӣ назар ба масофаи миёнаи байни молекулаҳои он чанд маротиба зиёд аст?

Ҳал: Мувофиқи натиҷаи масъалаи пешина:  $\langle l \rangle = 6,2 \cdot 10^{-8}\text{м}$ ; масофаи

байни молекулаҳо  $\langle L \rangle = \left(\frac{V_m}{N_A}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{22,4 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{23}}\right)^{\frac{1}{3}} = 3,34 \cdot 10^{-9}\text{м}$  мебошад, аз ин рӯ

$$\frac{\langle l \rangle}{\langle L \rangle} = 18,5$$

буданаш маълум мегардад.

Ҷавоб: 18,5 маротиба.

5.5. Дар шароити нормалӣ дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои газро, ки барои он доимии Ван-дер-Ваалс  $b = 40 \frac{\text{мл}}{\text{мол}}$  аст, муайян намоед.

Ҳал:  $b = 4N_A \frac{\pi}{6} d^3$ ;  $d = \left(\frac{3b}{2\pi N_A}\right)^{\frac{1}{3}}$ ;  $\langle l \rangle = \frac{kT_0}{\sqrt{2\pi P_0}} \left(\frac{2\pi N_A}{3b}\right)^{\frac{2}{3}} = 84\text{нм}$ .

5.6. Нитроген дар шароити нормалӣ ҷойгир аст. Муайян намоед: а) адади миёнаи бархӯрди молекулаҳо дар як сония, б) адади пурраи бархӯрди молекулаҳо дар  $1\text{см}^3$  дар як сония.

Ҳал: а)  $\nu = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle} = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle v \rangle$ ,  $\nu = 7,4 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{с}}$ .

б)  $\frac{1}{2} n \nu = 10^{28} \frac{1}{\text{см}^3}$ .

5.7. Вобастагии дарозии миёнаи дави озод ва адади миёнаи бархӯрдро дар воҳиди вақт ба температура барои молекулаҳои гази идеалӣ дар протсессҳои зерин муайян намоед: а) изохорӣ, б) изобарӣ.

Ҳал: а)  $\langle l \rangle = \frac{V}{\sqrt{2\pi d^2 N}}$  ба температура вобаста нест.

$$v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} = \frac{\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}}{\langle l \rangle} \sim \sqrt{T}.$$

$$\text{б) } \langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} \sim T \quad v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{\sqrt{T}}{T} \sim \frac{1}{\sqrt{T}}.$$

5.8. Дар гази идеалӣ протсессе сурат гирифт, ки дар натиҷа фишораш  $\beta$  маротиба афзуд. Дарозии миёнаи дави озоди молекула ва адади миёнаи бархӯрди ҳар як молекула дар воҳиди вақт чӣ тавр ва чанд маротиба тағйир меёбад? Агар протсесс: а) изохорӣ, б) изотермӣ бошад.

Ҳал: а)  $\langle l \rangle = const$ ;  $v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \sqrt{T} \sim \sqrt{PV} \sim \sqrt{P} \sim \sqrt{\beta}$ .

$$\text{б) } \langle l \rangle \sim \frac{1}{P} \sim \frac{1}{\beta} \quad v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \beta.$$

5.9. Дар гази идеалии аз молекулаҳои дуатомаи саҳт иборат буда, протсеси адиабати ҷараён дорад.  $\langle l \rangle$  ва  $v$  ба бузургҳои зерин дар ин протсесс чӣ гуна вобастаанд? а) ҳаҷм, б) фишор, в) температура.

Ҳал: а)  $\langle l \rangle \sim \frac{1}{n} \sim \frac{V}{N}$   $\langle l \rangle \sim V$   $v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{\sqrt{T}}{V}$ ;  $TV^{\gamma-1} = TV^{\frac{2}{5}} = const$   
 $T \sim V^{-\frac{2}{5}}$ ;  $v \sim V^{-\frac{6}{5}}$ .

$$\text{б) } \langle l \rangle \sim \frac{T}{P}; P \left(\frac{T}{P}\right)^{\gamma} = const, T^{\gamma} \sim P^{\gamma-1}; T \sim P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}; \quad \langle l \rangle \sim \frac{P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P} \sim P^{-\frac{1}{\gamma}} \sim P^{-\frac{5}{7}};$$

$$v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{P}{\sqrt{T}} \sim \frac{P}{P^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}}} \sim P^{1-\frac{\gamma-1}{2\gamma}} \sim P^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}} \sim P^{\frac{6}{7}};$$

$$\text{в) } \langle l \rangle \sim V; TV^{\gamma-1} = TV^{\frac{2}{5}} = const; V \sim T^{\frac{-1}{\gamma-1}}; \langle l \rangle \sim T^{\frac{-1}{\gamma-1}} \sim T^{-\frac{5}{2}}$$

$$v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{\sqrt{T}}{V} \sim \frac{T^{\frac{1}{2}}}{T^{-\frac{5}{2}}} \sim T^{\frac{1}{2}+\frac{5}{2}} \sim T^3.$$

5.10. Дар гази идеалӣ протсеси политропии мегузарад, ки нишондиҳандааш  $n$  аст.  $\langle l \rangle$  ва  $v$ -ро ҳамчун функсияи параметрҳои зерин муайян намоед: а) ҳаҷм, б) фишор, в) температура.

Ҳал:  $PV^n = const$ ;  $TV^{n-1} = const$ ;  $P^{1-n}T^n = const$ .

$$\text{а) } \langle l \rangle \sim V \quad v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{\sqrt{T}}{V} \sim \frac{T^{\frac{1}{2}}}{V} \sim V^{\frac{1-n}{2}-1} \sim V^{-\frac{n+1}{2}};$$

$$\text{б) } \langle l \rangle \sim \frac{T}{P}; P \left(\frac{T}{P}\right)^n = const, T^n \sim P^{n-1}; T \sim P^{\frac{n-1}{n}}; \quad \langle l \rangle \sim P^{-\frac{1}{n}};$$

$$v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{P}{\sqrt{T}} \sim P^{1-\frac{n-1}{2n}} \sim P^{\frac{n+1}{2n}};$$

$$в) \quad \langle l \rangle \sim \frac{T}{p}; \quad V \sim T^{\frac{-1}{n-1}}; \quad \langle l \rangle \sim T^{\frac{-1}{n-1}};$$

$$v = \frac{1}{\langle \tau \rangle} = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle l \rangle} \sim \frac{\sqrt{T}}{V} \sim \frac{T^{\frac{1}{2}}}{T^{\frac{1}{n-1}}} \sim T^{\frac{n+1}{2(n-1)}}.$$

5.11. Гармиғунҷоиши молии протсеси политропиеро муайян намоед, ки дар гази идеалии дуатома воқеъ гардид, агар адади бархӯрди молекулаҳо дар воҳиди вақт доимӣ монад: а) дар воҳиди ҳаҷм, б) дар тамоми ҳаҷм.

Ҳал: а) Адади умумии бархӯрди ҳамаи молекулаҳо дар воҳиди ҳаҷм ва дар

$$\text{воҳиди вақт} \quad Z = \frac{1}{2} \frac{Nv}{V} = \frac{1}{\sqrt{2}} \pi d^2 \frac{N^2}{V^2} \langle \vartheta \rangle \sim \frac{\sqrt{T}}{V^2} = \text{const}; \quad PV^{-3} = \text{const};$$

$$n = -3. \quad C = R \left( \frac{1}{\gamma - 1} - \frac{1}{n - 1} \right) = \frac{R}{4} (2i + 1) = 23 \frac{\text{Ҷ}}{(\text{мол К})}.$$

б) Адади умумии бархӯрди ҳамаи молекулаҳо дар воҳиди вақт:

$$ZV \sim \frac{\sqrt{T}}{V} = \text{const}; \quad PV^{-1} = \text{const}; \quad n = -1.$$

$$C = R \left( \frac{1}{\gamma - 1} - \frac{1}{n - 1} \right) = \frac{R}{2} (i + 1) = 29 \frac{\text{Ҷ}}{(\text{мол К})}.$$

$$\text{Ҷавоб: } C = 23 \frac{\text{Ҷ}}{(\text{мол К})}, \quad C = 29 \frac{\text{Ҷ}}{(\text{мол К})}.$$

5.12. Дар натиҷаи ягон протсес коэффисиенти часпакии гази идеали  $\alpha=2$  маротиба афзуду коэффисиенти диффузияш  $\beta=4$  маротиба. Фишори газ чӣ тавр ва чанд маротиба тағйир ёфт?

$$\text{Ҳал: } \eta = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \rho = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \frac{m_0}{\sqrt{2}\pi d^2} \sim \sqrt{T}; \quad \alpha = \frac{\eta_2}{\eta_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P} \sim \frac{T^{\frac{3}{2}}}{P}; \quad \frac{D_2}{D_1} = \beta = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{P_1}{P_2} = \alpha^3 \frac{P_1}{P_2};$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\alpha^3}{\beta} = 2.$$

Ҷавоб: фишор 2 маротиба меафзояд.

5.13. Агар ҳаҷми газ  $\beta$  маротиба афзояд ( а) изотермӣ, б) изобарӣ) коэффисиентҳои диффузия ва часпакӣ чӣ гуна тағйир меёбанд?

$$\text{Ҳал: } D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \sim \sqrt{T} V; \quad \eta = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \rho \sim \sqrt{T} V \frac{m}{V} \sim \sqrt{T}.$$

$$а) \quad \frac{D_2}{D_1} = \frac{V_2}{V_1} = \beta; \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = \text{const}.$$

$$б) \quad \frac{D_2}{D_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{3}{2}} = \beta \sqrt{\beta};$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{D_2 \rho_2}{D_1 \rho_1} = \beta \sqrt{\beta} \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\beta}.$$



Чавоб: а) Коэффисиенти диффузия  $\beta$  маротиба зиёд мешавад, коэффисиенти часпакӣ бетағйир мемонад; б) Коэффисиенти диффузия  $\beta\sqrt{\beta}$  маротиба ва коэффисиенти часпакӣ  $\sqrt{\beta}$  маротиба зиёд мешавад.

5.14. Гази идеалӣ аз молекулаҳои дуатомаи саҳт иборат аст. Агар ҳаҷми газ адиабатӣ  $\beta=10$  маротиба хурд шавад, коэффисиентҳои диффузия ва часпакӣ чанд маротиба ва чӣ тавр тағйир меёбанд?

$$\text{Ҳал: } D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \sim \sqrt{T} V; T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}; \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1};$$

$$D_2/D_1 = (T_2/T_1)^{1/2} V_2/V_1 = (V_1/V_2)^{(\gamma-1)/2} (V_1/V_2)^{-1} = (V_1/V_2)^{(\gamma-3)/2} = \beta^{-0,8} = 10^{-0,8};$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{D_2 \rho_2}{D_1 \rho_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{2}} = \beta^{0,2} = 10^{0,2}.$$

Чавоб: а) Коэффисиенти диффузия  $\beta^{\frac{4}{5}} = 6,3$  маротиба кам мешавад, коэффисиенти часпакӣ  $\beta^{\frac{1}{5}} = 1,6$  маротиба меафзояд.

5.15. Нишондиҳандаи политропии протсесеро, ки дар гази идеалӣ чори гардид, муайян намоед, агар коэффисиенти интиқоли зерин доимӣ монад:

а) диффузия, б) часпакӣ, в) гармигузаронӣ.

$$\text{Ҳал: а) } D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \sim \sqrt{T} V \sim \sqrt{PV^3} = \text{const}; PV^3 = \text{const}; n = 3;$$

$$\text{б) } \eta = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \rho \sim \sqrt{T} V \frac{m}{V} \sim \sqrt{T} \sim \sqrt{PV} = \text{const}; PV = \text{const}; n = 1;$$

$$\text{в) } \chi = \sqrt{PV} C_V = \text{const}; PV = \text{const}; n = 1.$$

5.16. Коэффисиенти часпакии гелиро дар шароити нормалӣ доништа, диаметри эффективии атомҳои онро ҳисоб кунед.

$$\text{Ҳал: } \eta = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \frac{m}{\sqrt{2\pi d^2}} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{mkT}{\pi^3}} \frac{1}{d^2}; d = \left(\frac{2}{3\eta}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{mkT}{\pi^3}\right)^{\frac{1}{4}} = 0,178 \text{ нм}.$$

5.17. Дар шароити нормалӣ коэффисиенти гармигузаронии гелий назар ба  $\chi$ -и аргон 8,7 маротиба зиёд аст. Нисбати диаметрҳои эффективии атомҳои гелий ва аргонро муайян намоед.

$$\text{Ҳал: } \chi = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle \rho C_V = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}} \frac{c_V}{M} \sim \frac{1}{M\sqrt{M}d^2};$$

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2; \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \frac{\chi_1}{\chi_2} \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^{\frac{3}{2}}; \frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{\chi_1}{\chi_2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^{\frac{3}{4}} = 1,7.$$

Чавоб:  $\frac{d_2}{d_1} = 1,7$ .

5.18. Формулаи Пуазейлро истифода бурда массаи газе, ки дар воҳиди вақт аз буриши арзии капилари дарозиаш  $l$  ва радиусаш  $r$ , ки дар охириҳош фишорҳои  $P_1$  ва  $P_2$  бетағйир нигоҳ дошта мешавад, муайян намоед. Коэффисиенти часпакии газ  $\eta$  мебошад.

$$\text{Ҳал: } V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{P_1 - P_2}{l} t; m = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{P_1 - P_2}{l} t \rho; P = \frac{\rho}{M} RT, PdV = \frac{RT}{M} dm;$$

$$\frac{m}{t} = \mu = \frac{\pi r^4 M}{8\eta RT} P \frac{P_1 - P_2}{l}; \quad P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$\mu = \frac{\pi r^4 M}{16\eta RT} \frac{|P_1^2 - P_2^2|}{l}$$

5.19. Бо ёрии манометри ионизатсионӣ, ки дар радифи маснӯи Замин насб карда шудааст, дар баландии 300 км аз сатҳи Замин консентратсияи зарраҳои газ дар атмосфера  $10^{15} \text{ м}^{-3}$  ба қайд гирифтанд. Дарозии миёнаи дави озоди зарраҳои газро дар ин баландӣ муайян намоед. Диаметри зарраи газ 0,2 нм буданастро ба эътибор гиред.

Маълумот:

Ҳал:

$$h = 300 \text{ км}$$

$$n = 10^{15} \text{ м}^{-3}$$

$$d = 0,2 \text{ нм}$$

$$\langle l \rangle = ?$$

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = 5,6 \text{ км.}$$

Ҷавоб: 5,6 км.

5.20. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои ҳаворо дар шароити нормалӣ муайян намоед. Диаметри молекулаҳои ҳаво 0,3 нм мебошад.

Маълумот:

Ҳал:

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 10^5 \text{ Па}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$\langle l \rangle = ?$$

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P} = 94,2 \text{ нм.}$$

Ҷавоб: 94,2 нм.

5.21. Дар температураи  $100^\circ\text{C}$  адади миёнаи бархӯрди молекулаҳои гази туршии карбонро дар воҳиди вақт муайян намоед, агар дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо  $\langle l \rangle = 870 \text{ мкм}$  бошад.

Маълумот:

Ҳал:  $\langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle z \rangle}$

$$T = 373 \text{ К}$$

$$\langle l \rangle = 870 \text{ мкм}$$

$$\langle z \rangle = ?$$

$$\langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

$$\langle z \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{1}{\langle l \rangle} = 4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

Ҷавоб:  $4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ .

5.22. Дар фишори 53,33 кПа ва температураи  $27^\circ\text{C}$  адади миёнаи бархӯрди молекулаҳои гази нитрогенро дар воҳиди вақт муайян намоед.

Маълумот:

Ҳал:  $\langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle z \rangle}$

$$T = 300 \text{ К}$$

$$P = 53,33 \text{ кПа}$$

$$\langle z \rangle = ?$$

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

$$\langle z \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\sqrt{2}\pi d^2 P}{kT} = 2,43 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}.$$

Ҷавоб:  $2,43 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ .

5.23. Дар зарфи ғунҷоишаш 0,5 л дар шароити нормалӣ оксиген ҷойгир аст. Адади умумии бархӯрди байни молекулаҳои оксигенро дар ин ҳаҷм дар воҳиди вақт муайян намоед.

Маълумот:

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$V = 0,5 \text{ л}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$Z = ?$$

Ҳал: Адади умумии бархӯрди молекулаҳо  $Z =$

$$\frac{\langle z \rangle n}{2}$$

Адади миёнаи бархӯрди ҳар як молекула

$$\langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n \langle \vartheta \rangle =$$

$$n = \frac{P}{kT}; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

$$Z = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\sqrt{2}\pi d^2 P^2}{2k^2 T^2} = \frac{2d^2 P^2}{k^2 T^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} = 3 \cdot 10^{31}.$$

Ҷавоб:  $3 \cdot 10^{31}$ .

5.24. Барои он ки дар зарфи сферавии диаметраш 15 см молекулаҳо ба ҳам барнахӯранд, концентратсияи зиёдтарини онҳо чӣ қадар бояд бошад? Диаметри молекулаҳо 0,3 нм аст.

Маълумот:

$$D = 15 \text{ см}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$n = ?$$

Ҳал: Барои он ки молекулаҳо барнахӯранд:

$$\langle l \rangle \geq D; \quad D \geq \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$$

$$n \leq \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 D} = 1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

Ҷавоб:  $1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ .

5.25. Фишори газ дар зарф чӣ қадар бошад, ки молекулаҳо ба ҳам барнахӯранд, агар диаметри зарф: а)  $D=1$  см; б)  $D=10$  см; в)  $D=100$  см бошад? Диаметри молекулаи газ 0,3 нм мебошад.

Маълумот:

$$D = 15 \text{ см}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$n = ?$$

Ҳал: Барои он ки молекулаҳо барнахӯранд:

$$\langle l \rangle \geq D. \text{ Барои ҳолати ҳудудӣ } \langle l \rangle = D$$

$$D = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}; \quad P = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 D}.$$

а) Ҳангоми  $D=1$  см;  $P=942$  МПа; б) ҳангоми  $D=10$  см;  $P=94,2$  МПа; в) ҳангоми  $D=100$  см;  $P=9,42$  МПа.

Ҷавоб: 942 МПа, 94,2 МПа, 9,42 МПа.

5.26. Коэффисиенти диффузияи гидрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар дарозии миёнаи дави озодаш 0,16 мкм бошад.

Маълумот:

$$T = 373 \text{ К}$$

$$P = 10^5 \text{ Па}$$

$$\text{Ҳал: } D = \frac{\langle \vartheta \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

$$\langle l \rangle = 0,16 \text{ мкм}$$

$$D = ?$$

$$D = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M} \frac{\langle l \rangle}{3}} = 9,06 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\text{Ҷавоб: } 9,06 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

5.27. Массай нитрогенро, ки дар натиҷаи диффузия аз масоҳати  $0,01 \text{ м}^2$  дар муддати вақти  $10 \text{ с}$  гузаштааст, муайян намоед, агар градиенти зичӣ дар самти ба сатҳ перпендикуляр  $\frac{\Delta \rho}{\Delta x} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$  бошад. Температурай нитроген  $27^\circ \text{С}$ . Дарозии миёнаи дави озоди молекулаи нитрогенро  $10 \text{ мкм}$  ҳисобед.

Маълумот:

$$T = 300 \text{ К}$$

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

$$\frac{\Delta \rho}{\Delta x} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$$

$$\Delta t = 10 \text{ с}$$

$$\langle l \rangle = 10 \text{ мкм}$$

$$m = ?$$

$$\text{Ҷал: } m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} S \Delta t \quad D = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M} \frac{\langle l \rangle}{3}}$$

$$m = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M} \frac{\langle l \rangle}{3}} \frac{\Delta \rho}{\Delta x} S \Delta t = 19,9 \text{ г.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 19,9 \text{ г.}$$

5.28. Дар чӣ қадар фишор нисбати коэффисиенти часпакӣ ба коэффисиенти диффузия  $\frac{\eta}{D} = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  ва суръати миёнаи квадратӣ  $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 632 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  мешавад?

Маълумот:

$$\frac{\eta}{D} = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 632 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$P = ?$$

$$\text{Ҷал: } D = \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \frac{\eta}{D} = \rho$$

Аз муодилаи асосии назарияи молекулярӣ-

кинетикии газбармеояд, ки  $P = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle =$

$$\frac{\eta \langle v^2 \rangle}{D \cdot 3} = 39,9 \text{ кПа будааст.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 39,9 \text{ кПа.}$$

5.29. Коэффисиенти часпакии нитрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар коэффисиенти диффузия барои он  $1,42 \text{ м}^2/\text{с}$  бошад.

Маълумот:

$$D = 1,42 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$\eta = ?$$

$$\text{Ҷал: } D = \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \eta = \rho D$$

Аз муодилаи ҳолат

$$\rho = \frac{PM}{RT}; \quad \eta = \frac{PM}{RT} D = 17,8 \text{ мкПа с.}$$

$$\text{Ҷавоб: } 17,8 \text{ мкПа с.}$$

5.30. Диаметри молекулаи оксигенро муайян намоед, агар дар температурай  $0^\circ \text{С}$  коэффисиенти часпакиаш  $18,8 \text{ мкПа с}$  бошад.

Маълумот:

$$\eta = 18,8 \text{ мкПа с}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$\text{Ҷал: } \eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle; \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}; \quad \langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 P};$$

d = ?

$$\rho = \frac{PM}{RT}; \quad \eta = \frac{2k}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}}; \quad d = \sqrt{\frac{2k}{3\pi\eta} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}}} = 0,3 \text{ нм.}$$

Ҷавоб: 0,3 нм.

5.31. Қатраи борони диаметраш 0,3 мм ба кадом суръати зиёдтарин соҳиб шуда метавонад? Диаметри молекулаи ҳаво 0,3 нм, температурааш 0 °С аст. Чунин пиндоред, ки барои қатраи борон қонуни Стокс татбиқшаванда аст.

Маълумот: Ҳал:  $mg - F_M = ma$ . Ҳангоми мунтазам шудани

$$\sigma = 0,3 \text{ мм}$$

$$\text{ҳаракат } a=0 \text{ ва } mg=F_M = 6\pi\eta r\vartheta_{\max}; \quad m=\frac{4}{3}\pi r^3\rho;$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$T=273 \text{ К}$$

$$\vartheta_{\max} = ?$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3\rho g = 6\pi\eta r\vartheta_{\max}; \quad \eta = \frac{2k}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}};$$

$$\vartheta_{\max} = \frac{\sigma^2\rho g N_A \pi d^2}{12} \sqrt{\frac{\pi}{MRT}} = 2,73 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҷавоб: 2,73 м/с.

5.32. Коэффициенти гармигузаронии гидрогенро муайян намоед, агар коэффициентҳои часпакиаш 8,6 мкПа с бошад.

Маълумот:

$$\eta = 8,6 \text{ мкПа с}$$

$$\chi = ?$$

$$\text{Ҳал: } \eta = \frac{1}{3}\rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle; \quad \chi = \frac{1}{3}c_V\rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle$$

$$\chi = c_V\eta; \quad c_V = \frac{i R}{2 M}; \quad i = 5; \quad c_V = \frac{5 R}{2 M}$$

$$\chi = \frac{5 R}{2 M}\eta = 89,33 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}$$

Ҷавоб:  $89,33 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}$ .

5.33. Коэффициенти гармигузаронии ҳаворо дар фишори 100 кПа ва температураи 10 °С муайян намоед. Диаметри молекулаи ҳаво 0,3 нм.

Маълумот:

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$T = 283 \text{ К}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$\chi = ?$$

$$\text{Ҳал: } \chi = \frac{1}{3}c_V\rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle; \quad c_V = \frac{i R}{2 M}; \quad i = 5; \quad c_V = \frac{5 R}{2 M}$$

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}; \quad \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\chi = \frac{1}{3} \frac{5 R}{2 M} \frac{PM}{RT} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P};$$

$$\chi = \frac{5}{6} \frac{k}{\sqrt{2}\pi d^2} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 13,1 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}$$

Ҷавоб:  $13,1 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}$ .

5.34. Газҳои туршии карбон ва нитроген дар температура ва фишорҳои баробар ҷойгиранд. Барои ин газҳо нисбатҳои зеринро муайян намоед: а) коэффициентидиффузия; б) часпакӣ; в) гармигузаронӣ. Диаметри молекулаҳои газҳоро баробар ҳисобед.

Маълумот:

$$P_1 = P_2$$

$$T_1 = T_2$$

$$d_1 = d_2$$

$$\frac{D_1}{D_2} = ?$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = ?$$

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = ?$$

$$\chi_2$$

Ҳал:

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = 0,8.$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 1,25.$$

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \frac{i_1}{i_2} \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = 0,96.$$

Ҷавоб: 0,8; 1,25; 0,96.

5.35. Аз ҳисоби гармигузаронии ҳавои байни оинаҳои тиреза дар як соат аз хона чӣ қадар гармӣ хориҷ мешавад? Масоҳати ҳар як рӯи чорчӯбаи тиреза 4 м<sup>2</sup>, масофаи байнашон 30 см. Температураи хона 18°C, температураи ҳавои берун -20°C. Диаметри молекулаҳои ҳаво 0,3 нм. Температураи ҳавои байни шишаҳоро ба қимати миёнаи арифметикии температураҳои хона ва ҳавои берун баробар пиндоред. Фишор 101,3 кПа.

Маълумот:

$$P = 101,3 \text{ кПа}$$

$$T_1 = 291 \text{ К}$$

$$T_2 = 253 \text{ К}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$S = 4 \text{ м}^2$$

$$\Delta x = 30 \text{ см}$$

$$Q = ?$$

$$\text{Ҳал: } Q = \chi \frac{\Delta T}{\Delta x} S t \quad \chi = \frac{1}{3} c_V \rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle; \quad c_V = \frac{i}{2} \frac{R}{M};$$

$$\chi = \frac{5}{6} \frac{k}{\sqrt{2\pi} d^2} \sqrt{\frac{8R}{\pi M}} \sqrt{T}, \quad T - \text{температураи ҳавои байни}$$

$$\text{шишаҳо } T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 272 \text{ К. } \chi = 12,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м К.}}$$

$$Q = \chi \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} S t = 24 \text{ кҶ.}$$

Ҷавоб: Ҷавоб: 24 кҶ.

5.36. Бо ёрии манометри ионизатсионӣ, ки дар радифи маснӯи Замин насб карда шудааст, дар баландии 300 км аз сатҳи Замин консентратсияи зарраҳои газро дар атмосфера 10<sup>15</sup> м<sup>-3</sup> ба қайд гирифтанд. Дарозии миёнаи дави озоди зарраҳои газро дар ин баландӣ муайян намоед. Диаметри зарраи газ 0,2 нм.

Маълумот:

$$h = 300 \text{ км}$$

$$n = 10^{15} \text{ м}^{-3}$$

$$d = 0,2 \text{ нм}$$

$$\langle l \rangle = ?$$

Ҳал:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi} d^2 n} = 5,6 \text{ км.}$$

Ҷавоб: 5,6 км.

5.37. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои ҳаворо дар шароити нормалӣ муайян намоед. Диаметри молекулаҳои ҳаво 0,3 нм.

Маълумот:

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 10^5 \text{ Па}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

Ҳал:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi} d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} d^2 P} = 94,2 \text{ нм.}$$

Ҷавоб: 94,2 нм.

$$\langle l \rangle = ?$$

5.38. Дар температураи  $100^\circ\text{C}$  адади миёнаи бархӯрди молекулаҳои гази туршии карбонро дар воҳиди вақт муайян намоед, агар дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо  $\langle l \rangle = 870$  мкм бошад.

Маълумот:

$$T = 373 \text{ K}$$

$$\langle l \rangle = 870 \text{ мкм}$$

$$\langle z \rangle = ?$$

$$\text{Ҳал: } \langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle z \rangle} \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

$$\langle z \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{1}{\langle l \rangle} = 4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

5.39. Дар фишори  $53,33$  кПа ва температураи  $27^\circ\text{C}$  адади миёнаи бархӯрди молекулаҳои гази нитрогенро дар воҳиди вақт муайян намоед.

Маълумот:

$$T = 300 \text{ K}$$

$$P = 53,33 \text{ кПа}$$

$$\langle z \rangle = ?$$

$$\text{Ҳал: } \langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle z \rangle}.$$

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

$$\langle z \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\sqrt{2}\pi d^2 P}{kT} = 2,43 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 2,43 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}.$$

5.40. Дар зарфи ғунҷоишаш  $0,5$  л дар шароити нормалӣ оксиген ҷойгир аст. Адади умумии бархӯрди байни молекулаҳои оксигенро дар ин ҳаҷм дар воҳиди вақт муайян намоед.

Маълумот:

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

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$V = 0,5 \text{ л}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$$

$$Z = ?$$

Ҳал: Адади умумии бархӯрди молекулаҳо:

$$Z = \frac{\langle z \rangle n}{2}.$$

Адади миёнаи бархӯрди ҳар як молекула:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n \langle \vartheta \rangle;$$

$$n = \frac{P}{kT}; \quad \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

$$Z = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\sqrt{2}\pi d^2 P^2}{2k^2 T^2} = \frac{2d^2 P^2}{k^2 T^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} = 3 \cdot 10^{31}.$$

$$\text{Ҷавоб: } 3 \cdot 10^{31}.$$

5.41. Барои он ки дар зарфи сферавии диаметраш  $15$  см молекулаҳо ба ҳам барнахӯранд, консентратсияи зиёдтарини онҳо чӣ қадар бояд бошад?

Диаметри молекулаҳо  $0,3$  нм.

Маълумот:

$$D = 15 \text{ см}$$

Ҳал: Барои он ки молекулаҳо барнахӯранд:

$$d=0,3 \text{ нм} \quad \langle l \rangle \geq D \text{ бояд бошад. } D \geq \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}};$$

$$n = ? \quad n \leq \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 D}} = 1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

Ҷавоб:  $1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ .

5.42. Фишори газ дар зарф чӣ қадар бояд бошад, ки молекулаҳо ба ҳам барнахӯранд, агар диаметри зарф: а)  $D=1$  см; б)  $D=10$  см; в)  $D=100$  см бошад? Диаметри молекулаи газ  $0,3$  нм. Температура якандоза ( $300$  К).

Маълумот:  $D=15$  см  
 $d=0,3$  нм  
 $n = ?$

Ҳал: Барои он ки молекулаҳо барнахӯранд:  
 $\langle l \rangle \geq D$ . Барои ҳолати ҳудудӣ  $\langle l \rangle = D$   
 $D = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}}; P = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 D}}$   
 а) Ҳангоми  $D=1$  см;  $P=942$  МПа; б) ҳангоми  $D=10$  см;  $P=94,2$  МПа; в) ҳангоми  $D=1$  м;  
 $P=9,42$  МПа.  
 Ҷавоб:  $942$  МПа,  $94,2$  МПа,  $9,42$  МПа.

5.43. Коэффисиенти диффузияи гидрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар дарозии миёнаи дави озодаш  $0,16$  мкм бошад.

Маълумот:  $T=373$  К  
 $P=10^5$  Па  
 $\langle l \rangle = 0,16$  мкм  
 $D = ?$

Ҳал:  $D = \frac{\langle \vartheta \rangle}{3} \langle l \rangle; \langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$   
 $D = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\langle l \rangle}{3} = 9,06 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$   
 Ҷавоб:  $9,06 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ .

5.44. Массайи нитрогенро, ки дар натиҷаи диффузия аз масоҳати  $0,01$  м<sup>2</sup> дар муддати вақти  $10$  с гузаштааст, муайян намоед, агар градиенти зичӣ дар самти ба сатҳ перпендикуляр  $\frac{\Delta \rho}{\Delta x} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$  бошад. Температураи нитроген  $27$  °С. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаи нитроген  $10$  мкм.

Маълумот:  $T=300$  К  
 $S=0,01$  м<sup>2</sup>  
 $\frac{\Delta \rho}{\Delta x} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$   
 $\Delta t = 10$  с  
 $\langle l \rangle = 10$  мкм  
 $m = ?$

Ҳал:  $m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} S \Delta t \quad D = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\langle l \rangle}{3}$   
 $m = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{\langle l \rangle}{3} \frac{\Delta \rho}{\Delta x} S \Delta t = 19,9$  г.  
 Ҷавоб:  $19,9$  г.

5.45. Дар чӣ қадар фишор нисбати коэффисиенти часпакӣ бар коэффисиенти диффузия  $\frac{\eta}{D} = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  ва суръати миёнаи квадратӣ  $\sqrt{\langle \vartheta^2 \rangle} = 632 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  мешавад?



Маълумот:

$$\frac{\eta}{D} = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = 632 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$P = ?$$

Ҳал:  $D = \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle$ ;  $\eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle$ ;  $\frac{\eta}{D} = \rho$

Аз муодилаи асосии назарияи молекулавӣ-

кинетикии газ  $P = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle = \frac{\eta \langle v^2 \rangle}{D \cdot 3} = 39,9 \text{ кПа}$ .

Ҷавоб: 39,9 кПа.

5.46. Коэффисиенти часпакии нитрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар коэффисиенти диффузия барои он  $1,42 \text{ м}^2/\text{с}$  бошад.

Маълумот:

$$D = 1,42 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$\eta = ?$$

Ҳал:  $D = \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle$ ;  $\eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle$ ;  $\eta = \rho D$

Аз муодилаи ҳолат:

$$\rho = \frac{PM}{RT}; \quad \eta = \frac{PM}{RT} D = 17,8 \text{ мкПа с}$$

Ҷавоб: 17,8 мкПа с.

5.47. Диаметри молекулаи оксигенро муайян намоед, агар дар температураи  $0^\circ\text{C}$  коэффисиенти часпакиаш  $18,8 \text{ мкПа с}$  бошад.

Маълумот:

$$\eta = 18,8 \text{ мкПа с}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$d = ?$$

Ҳал:  $\eta = \rho \frac{\langle v \rangle}{3} \langle l \rangle$ ;  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ;  $\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}$ ;

$$\rho = \frac{PM}{RT}; \quad \eta = \frac{2k}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}}; \quad d = \sqrt{\frac{2k}{3\pi\eta} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}}} = 0,3 \text{ нм}$$

Ҷавоб: 0,3 нм.

5.48. Коэффисиенти гармигузаронии гидрогенро муайян намоед, агар коэффисиенти часпакиаш  $8,6 \text{ мкПа с}$  бошад.

Маълумот:

$$\eta = 8,6 \text{ мкПа с}$$

$$\chi = ?$$

Ҳал:  $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$ ;  $\chi = \frac{1}{3} c_V \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$

$$\chi = c_V \eta; \quad c_V = \frac{i R}{2 M}; \quad i = 5; \quad c_V = \frac{5 R}{2 M}$$

$$\chi = \frac{5 R}{2 M} \eta = 89,33 \frac{\text{МВт}}{\text{м К}}$$

Ҷавоб:  $89,33 \frac{\text{МВт}}{\text{м К}}$ .

5.49. Коэффисиенти гармигузаронии ҳаворо дар фишори  $100 \text{ кПа}$  ва температураи  $10^\circ\text{C}$  муайян намоед. Диаметри молекулаи ҳаво  $0,3 \text{ нм}$ .

Маълумот:

$$P = 100 \text{ кПа}$$

$$T = 283 \text{ К}$$

$$d = 0,3 \text{ нм}$$

$$\chi = ?$$

Ҳал:  $\chi = \frac{1}{3} c_V \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$ ;  $c_V = \frac{i R}{2 M}$ ;  $i = 5$ ;  $c_V = \frac{5 R}{2 M}$ ;

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}; \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}; \quad \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\chi = \frac{15 R PM}{32 M RT} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P};$$

$$\chi = \frac{5}{6} \frac{k}{\sqrt{2}\pi d^2} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 13,1 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}.$$

Ҷавоб:  $13,1 \frac{\text{мВт}}{\text{м К}}$ .

5.50. Газҳои туршии карбон ва нитроген дар температура ва фишорҳои ба-  
робар ҷойгиранд. Барои ин газҳо нисбатҳои зеринро муайян намоед: а) ко-  
эффисиенти диффузия; б) часпақӣ; в) гармигузаронӣ. Диаметри молеку-  
лаҳои газҳоро баробар ҳисобед.

Маълумот:

Ҳал:

$$P_1 = P_2$$

$$T_1 = T_2$$

$$d_1 = d_2$$

$$\frac{D_1}{D_2} = ?$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = ?$$

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = ?$$

$$\chi_2$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = 0,8.$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 1,25.$$

$$\frac{\chi_1}{\chi_2} = \frac{i_1}{i_2} \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = 0,96.$$

Ҷавоб: 0,8; 1,25; 0,96.

5.51. Байни деворҳои зарфи Дюар фишор аз чӣ қадар кам гардад, ки он ҷо  
вакуум ҳисобида шавад, агар масофаи байни деворҳо 8 мм ва температура  
17 °С бошад? Диаметри эффективии молекулаҳои ҳаворо 0,27 нм қабул  
намоед.

Маълумот:

$$l = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$T = 290 \text{ К}$$

$$d = 0,27 \text{ нм} = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$P_{\text{вак}} = ?$$

$$\text{Ҳал: } \langle l \rangle = l; \langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P};$$

$$P = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 \langle l \rangle}; P_{\text{вак}} \leq \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 l}.$$

Ҷавоб:  $P_{\text{вак}} \leq 1,54 \text{ Па}$ .

5.52. Дар температураи 17 °С фишори газии тунук дар найчаи рентгенӣ 130  
мкПа аст. Оё ин ҳолати газро вакууми баланд ҳисобида метавонем, агар  
масофаи байни аноду катодаи найча 50 мм бошад? Диаметри эффективии  
молекулаҳои ҳаво 0,27 нм.

Маълумот:

$$l_0 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$T = 290 \text{ К}$$

$$d = 0,27 \text{ нм} = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$P = 130 \text{ мкПа} = 13 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$$

$$\langle l \rangle = ?$$

$$\text{Ҳал: } \langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P};$$

Ҷавоб:  $\langle l \rangle = 95,1 \text{ м}, \langle l \rangle \gg l_0$ .

Вакууми баланд.

**Супориши инфродӣ (индивидуалӣ)**

Коэффисиентҳои дифузия, часпакӣ ва гармигузаронино барои гази муайян, ки зери фишори  $P$  дар температураи  $T$  ҷойгир аст ёбед.

1. гидроген $P= 120$ кПа $T= 283$ К	2. оксиген $P= 110$ кПа $T= 293$ К	3. неон $P= 250$ кПа $T= 333$ К	4. гелий $P= 100$ кПа $T= 350$ К
5. фтор $P= 220$ кПа $T= 303$ К	6. нитроген $P= 110$ кПа $T= 313$ К	7. $CO_2$ $P= 250$ кПа $T= 300$ К	8. хлор $P= 240$ кПа $T= 373$ К
9. сульфид $P= 210$ кПа $T= 353$ К	10. аммиак $P= 140$ кПа $T= 373$ К	11. ҳаво $P= 100$ кПа $T= 293$ К	12. метан $P= 90$ кПа $T= 370$ К
13. гидрогенхлорид $P= 80$ кПа $T= 300$ К	14. гидрогенфторид $P= 120$ кПа $T= 313$ К	15. этан $P= 150$ кПа $T= 303$ К	16. пропан $P= 110$ кПа $T= 353$ К
17. бутан $P= 210$ кПа $T= 343$ К	18. озон ( $O_3$ ) $P= 220$ кПа $T= 273$ К	19. буғи об $P=140$ кПа $T= 393$ К	20. ксенон $P= 70$ кПа $T= 323$ К
21. радон $P= 95$ кПа $T= 353$ К	22. криптон $P= 110$ кПа $T= 303$ К	23. аргон $P= 75$ кПа $T= 313$ К	24. $C_2H_5OH$ $P= 50$ кПа $T= 365$ К
25. $C_3H_7OH$ $P= 20$ кПа $T= 400$ К	26. $C_4H_9OH$ $P= 50$ кПа $T= 500$ К	27. Атсетон $P= 10$ кПа $T= 333$ К	28. Бензол $P= 10$ кПа $T= 350$ К
29. $C_6H_{14}$ $P= 50$ кПа $T= 380$ К	30. $C_7H_{16}$ $P= 40$ кПа $T= 400$ К	31. $C_8H_{18}$ $P= 40$ кПа $T= 450$ К	32. $C_9H_{20}$ $P= 30$ кПа $T= 450$ К
33. $C_{10}H_{22}$ $P= 80$ кПа $T= 480$ К	34. $CHCl_3$ $P= 10$ кПа $T= 300$ К	35. $(CH_3)_3CH$ $P= 20$ кПа $T= 300$ К	36. $(CH_3)_2CHC_2H_5$ $P= 40$ кПа $T= 330$ К
36. Атоми гидроген $T=1300$ К $P=5$ кПа	37. Атоми нитроген $T=2000$ К $P=15$ кПа	38. Хлор $T=400$ К $P= 10$ кПа	39. Ксенон $T=380$ К $P= 50$ кПа
40. Бутан $T=323$ К $P= 60$ кПа	41. $CH_3OH$ $T=363$ К $P= 10$ кПа	42. $C_5H_{12}$ $T=360$ К $P=40$ кПа	43. Ҳаво $T= 300$ К $P= 10$ кПа

## Омухтани ҳодисаҳои интиқол дар газҳо

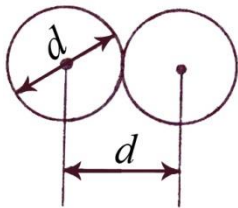
**Тачҳизот:** маҷмӯи капилларҳо, балони шишагӣ, насос, манометр, барометр, секундомер.

**Мақсади кор:** Муайян кардани коэффисиентҳои интиқол, дарозии миёнаи дави озод ва диаметри эффективии молекулаи нитроген, ки 78%-и ҳаворо ташкил медиҳад.

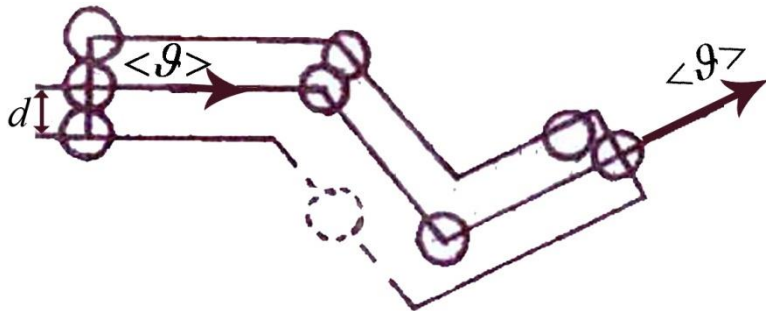
### Маълумоти мухтасар

Молекулаҳои газ доимо дар ҳаракати бетартибона буда, ба якдигар бефосила бармехӯранд. Байни ду бархӯрд молекулаҳо ягон роҳи  $l$ -ро тай менамоянд, ки он дарозии дави озод ном дорад. Дар ҳолати умумӣ дарозии роҳи байни ду бархӯрд гуногун аст. Азбаски мо бо адади бениҳоят зиёди молекулаҳо сару кор дорему онҳо ҳаракати бетартибона мекунанд дар бораи дарозии миёнаи дави озоди молекула  $\langle l \rangle$  сухан рондан мумкин аст.

Масофаи хурдтарине, ки ҳангоми бархӯрд маркази ду молекула ба якдигар наздик шуда метавонанд, диаметри эффективии молекула ( $d$ ) номида мешавад (расми 1). Он аз суръати молекулаҳои бархӯранда, яъне аз температураи газ вобаста аст.



Расми 1



Расми 2

Азбаски дар як сония молекула роҳи миёнаи ба суръати миёнаи арифметикӣ  $\langle \vartheta \rangle$  баробарро тай мекунад (расми 2) ва агар  $\langle z \rangle$  шумораи миёнаи адади бархӯрди молекулаи газ дар 1 с бошад, дарозии миёнаи дави озод чунин мешавад:

$$\langle l \rangle = \frac{\langle \vartheta \rangle}{\langle z \rangle} . \quad (1)$$

Барои муайян кардани  $\langle z \rangle$  молекуларо ба шакли сақои диаметраш  $d$  мепиндорем, ки дар байни дигар молекулаҳои «шахшуда» дар ҳаракат мебошад. Ин молекула танҳо бо молекулаҳои бармехӯрад, ки марказшон дар масофаи аз  $d$  хурд ё баробар ҷойгиранд, яъне дар дохили силиндри радиусаи  $d$  хобидаанд (расми 2).

Адади миёнаи бархӯрд дар 1 с ба адади молекулаҳои дар ҳаҷми силиндри «шикаста» ҷойгир буда ба :

$$\langle z \rangle = nV$$

баробар аст, ки ин ҷо  $n$ -консентратсияи молекулаҳо:

$$V = \pi d^2 \langle \mathcal{G} \rangle$$

мебошад.

Ҳамин тавр, адади миёнаи бархӯрдхоро ин тавр ифода кардан мумкин аст:

$$\langle z \rangle = \pi d^2 n \langle \mathcal{G} \rangle \quad (2)$$

Ҳисобу китоби чиддӣ нишон доданд, ки хангоми ба назаргирии ҳаракати ҳамаи молекулаҳо:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle \mathcal{G} \rangle \quad (3)$$

ҳосил мешавад. Аз ин рӯ дарозии миёнаи дави озодро чун:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} \quad (4)$$

муайян карда метавонем, яъне,  $\langle l \rangle$  ба концентратсияи молекулаҳо  $n$ -мутаносиби чаппа аст. Аз тарафи дигар, мутобиқи муодилаи  $P = nkT$  хангоми доимӣ будани температура  $n$  ба  $P$  мутаносиб аст:

$$\frac{\langle l_2 \rangle}{\langle l_1 \rangle} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{P_1}{P_2}.$$

Ҳодисаҳои интиқол – протсеси барқароршавии мувозинатӣ дар система бо роҳи интиқоли масса (диффузия), энергия (гармигузаронӣ) ва импулси молекула (соиши дохилӣ ё часпакии динамикӣ) сурат мегиранд. Ин ҳодисаҳо дар ҳолати ғайримувозинатӣ, яъне хангоми дар система мавҷуд будани градиенти зичӣ ( $dp / dx$ ), температура ( $dT/dx$ ) ва суръати молекулаҳо ( $du/dx$ ) ба амал меоянд, ки бо ҳаракати ҳароратии молекулаҳо вобаста аст.

Ба ҳодисаҳои интиқол гармигузаронӣ, диффузия ва соиши дохилӣ мансубанд. Барои ин ҳодисаҳо интиқоли энергия, масса ва импулс ҳамеша ба самте ба амал меояд, ки ба градиенти онҳо чаппаанд, яъне система ба ҳолати мувозинатии термодинамикӣ наздик мешавад.

**Гармигузаронӣ.** Агар дар соҳаи муайяни газ энергияи кинетикии молекулаҳо нибат ба соҳаи дигар зиёд бошад, он гоҳ бо гузаштани вақт аз сабаби бархӯрдҳои доимӣ протсеси ба ҳам баробаршавии энергияи кинетикии молекулаҳо, яъне баробаршавии температураҳо ба вуҷуд меояд.

Протсеси нақли энергия дар намуди гармӣ ба қонуни гармигузаронии Фурье итоат мекунад, ки он чунин аст: миқдори гармии  $q$ -и дар воҳиди вақт аз воҳиди масоҳат мегузарад, ба  $\frac{dT}{dx}$ -градиенти температура мутаносиб аст ва ба суръати тағйироти температураи дар воҳиди дарозӣ  $x$  ба самти нормал нисбат ба ин масоҳат баробар аст:

$$q = -\chi \frac{dT}{dx}, \quad (5)$$

дар ин ҷо  $\chi$ -коэффисиенти гармигузаронӣ аст. Аломати минус нишон медиҳад, ки хангоми гармигузаронӣ энергия ба сӯи камшавии температура мегузарад. Коэффисиенти гармигузаронӣ ба миқдори гармие баробар аст, ки он дар муддати 1 с хангоми градиенти температура ба як борбаробар будан гузаронида мешавад.

Гармии ( $Q$ ) пуррае, ки аз масоҳати  $S$  дар тӯли вақти  $\tau$  мегузарад, ба масоҳати  $S$  муддати  $t$  ва градиенти температура  $\frac{dT}{dx}$  мутаносиб аст:

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx} S \tau.$$

Барои газҳои идеалӣ:

$$\chi = \frac{1}{3} C_v \rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle, \quad (6)$$

мебошад, ки ин ҷо  $C_v$ -гармигунҷоиши хоси газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷми он,  $\rho$ -зичии газ.

**Диффузия.** Диффузия ҳодисаест, ки дар натиҷаи ба таври ихтиёрӣ омехта гардидани ҳиссаҷаҳои ду газ, моеъ ва ҷисмҳои сахт ба вучуд меояд. Диффузия ба додугирифтӣ зарраҳои ин ҷисмҳо меорад ва то вақте давом мекунад, ки градиенти зичӣ вучуд дошта бошад.

Интиқоли массаи модда ба қонуни Фик итоат мекунад: массаи модда  $m$ , ки дар воҳиди вақти  $t$  аз воҳиди масоҳат  $S$  мегузарад, ба градиенти зичӣ мутаносиби роста аст:

$$m = -D \frac{d\rho}{dx} S, \quad (7)$$

ки ин ҷо  $D$ -коэффисиенти диффузия мебошад, аломати минус нишон медиҳад, ки интиқоли масса ба самти камшавии зичӣ рӯй медиҳад.

Коэффисиенти диффузия ба массаи моддае баробар аст, ки аз воҳиди масоҳат дар воҳиди вақт ҳангоми ба як баробар будани градиенти зичӣ гузаронида мешавад. Мувофиқи назарияи кинетикии газҳо:

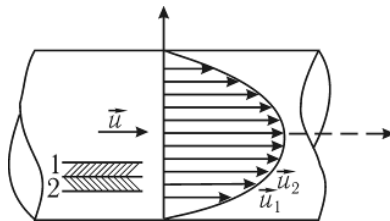
$$D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle. \quad (8)$$

маълум гардидааст.

Массаи модда  $M$ , ки дар натиҷаи диффузия аз масоҳати  $S$  дар тӯли вақти  $\tau$  мегузарад ва масоҳати  $S$ ,  $\tau$  ва градиенти зичӣ мутаносиб аст:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} S \tau$$

**Соиши дохилӣ (часпакӣ).** Ҳангоми дар дохили лӯла ҷоришавии газ ё моеъ суръати қабатҳо гуногунанд (расми 3).



Расми 3

Сабаби ин ҳаракати бетартибонаи ҳароратии молекулаҳо мебошад, ки бефосила аз қабат ба қабати дигар гузашта, бо молекулаҳои дигар бар-мехуранду мубодилаи импульс ба амал меояд. Аз қабати тезҳаракат ба қабати суст ва баракс импульс гузаронида мешавад. Дар натиҷа қабати суст тез мешаваду қабати тез - суст. Таҷриба нишон медиҳад, ки импульси  $dp$ , ки аз як қабат ба дигараш бо сатҳи  $S$  мегузарад, ба градиенти суръат  $du/dx$ , масоҳат  $S$  ва вақти гузариш  $dt$  мутаносиб мебошад:

$$dp = -\eta \frac{du}{dx} S dt.$$

Дар натиҷа, байни қабатҳо қувваи соиши дохилӣ (қонуни Нютон) амал мекунад :

$$F = \left| \frac{dp}{dt} \right| = -\eta \frac{du}{dx} . \quad (9)$$

Ин ҷо  $\eta$  – коэффисиенти часпакии муҳит мебошад. Аломати минус нишон медиҳад, ки қувваи соиш ба самти суръат муқобил аст.

Механизми бавучудоии соиши дохилии байни қабатҳои газ, ки бо суръатҳои гуногун ҳаракат мекунад, аз он иборат аст, ки бо сабаби ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо додугирифтӣ молекула байни қабатҳо ба вучуд меояд ва дар натиҷа, импульси қабатҳои суст- ҳаракатманд меафзояд, ки он ба сустшавии суръати қабате, ки тез ҳаракат мекунад ва ба вучудоии шитоби қабати сустҳаракаткунанда меорад.

Коэффисиенти часпакии динамикӣ  $\eta$  ададан ба қувваи соиши дохиле баробар аст, ки ба воҳиди масоҳат ҳангоми ба як баробар будани градиенти суръат таъсир мекунад. Коэффисиенти часпакӣ  $\eta$  барои газҳои идеалӣ бо ёрии формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle l \rangle . \quad (11)$$

Молекулаҳо байни якдигар ба мисли сақоҳои чандир таъсир намеку-нанд. Ба ҳисобгирии қувваи кашиш ва теладиҳӣ ба  $15\pi/32$  маротиба зиёд-шавии қимати назариявии часпакӣ меорад ва бинобар ин, коэффисиенти диффузия  $D$ -ро ба  $\alpha = 15\pi/32$  зарб задан лозим меояд, ки барои газҳои гу-ногун  $1,25 < \alpha < 1,54$  аст. Барои оксиген, нитроген ва ҳаво дар шароити нормалӣ  $\alpha = 1,3$  мебошад. Барои ин газҳо чунин ҳисобидан мумкин аст:

$$D\rho = 1,3\eta . \quad (12)$$

Формулаҳои (6), (8) ва (10) коэффисиентҳои интиқолро алоқаманд мекунанд. Аз ин формулаҳо вобастагҳои соддаро байни  $\chi$ , ва  $D$  ва  $\eta$  ёф-тан мумкин аст:

$$\alpha\eta = \rho D, \quad \frac{\chi}{\eta C_v} = 1$$

Бо истифода аз ин формулаҳо мувофиқи натиҷаи таҷрибаҳо барои як коэффисиенти интиқол бузургҳои дигарро муайян намудан мумкин аст. Ҷадвалеро меорем, ки дар он маълумотҳои асосӣ дар бораи ҳодисаҳои ин-тиқол дар газҳо чамъ оварда шудааст.

Ҳодисаи интиқол	Бузургии гузаранда	Формулаи интиқол	Коэффисиенти интиқол
Диффузия	Масса	$dM = -D \frac{d\rho}{dx} dS d\tau$	$D = \frac{1}{3} \langle l \rangle \langle \vartheta \rangle$
Гармигузаронӣ	Гармӣ (энергияи дохилӣ)	$\delta Q = -\chi \frac{dT}{dx} dS d\tau$	$\chi = \frac{1}{3} \rho C_v \langle l \rangle \langle \vartheta \rangle$
Соиши дохилӣ	Миқдори ҳаракат (импулс)	$dF = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} dS$ $dK = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} dS d\tau$	$\eta = \frac{1}{3} \langle l \rangle \langle \vartheta \rangle$

Соиши дохилӣ боис мегардад, ки барои ҷоришавии газ ё моеъ аз найча як миқдор фарқи фишорҳо мавҷуд бошад. Барои он ки суръати ҷоришавӣ ба қимати муайяне доро бошад, ин фарқи фишорҳо ҳар қадар, ки  $\eta$  калон бошад, он низ ҳамон қадар бояд зиёд шавад.

Вобастагии байни ҳаҷми гази аз буриши капилар гузаранда ва фарқи фишоре, ки барои он лозим аст, бо ёрии формулаи Пуазейл ёфта мешавад:

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L} \tau. \quad (13)$$

Ин ҷо:  $r$ -радиуси капилар,  $L$ -дарозии он,  $\Delta P = P_2 - P_1$  фарқи фишорҳо дар охириҳои капилар, ки дар натиҷаи ҷоришавии ҳаво ба вучуд меояд,  $V$ -ҳаҷми ҳаво, ки аз капилляр дар вақти  $\tau$  мегузарад.

Бо истифода аз ин формула, ҳаҷми газе, ки дар муддати ягон вақт аз капилар ҷорӣ мешавад ва андозаҳои геометрии онро доништа, коэффисиенти часпакии газро муайян намудан мумкин аст.

Азбаски газҳо муҳити фишурдашавандаанд, барои онҳо истифодаи формулаи Пуазейл ба натиҷаҳои нодуруст меоварад. Лекин барои фарқи фишорҳои хурде, ки дар қори мазкур ба вучуд меоянд, формулаи Пуазейлро бо хатоҳои камтар аз 1% истифода намудан мумкин аст.

Ҳамин тавр, барои ҳисоби коэффисиенти соиши дохилӣ дар қори мазкур формулаи зерин истифода бурда мешавад:

$$\eta = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8LV} \tau. \quad (14)$$

Қимати зичии  $\rho_{\text{ҳаво}}$  дар шароите, ки таҷриба баргузор мегардад, бо ёрии формулаи Менделеев-Клапейрон ҳисоб карда мешавад:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad \text{ва} \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}. \quad (15)$$

Температураи  $T$ -ро доништа ( $T = t + 273$ ) суръати миёнаи арифметикӣ молекулаҳои ҳаворо ёфтани мумкин аст:

$$\langle \vartheta \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}. \quad (16)$$



Таносуби (11)-ро истифода карда, барои ҳисоби дарозии миёнаи дави озод формулаи зеринро ҳосил мекунем:

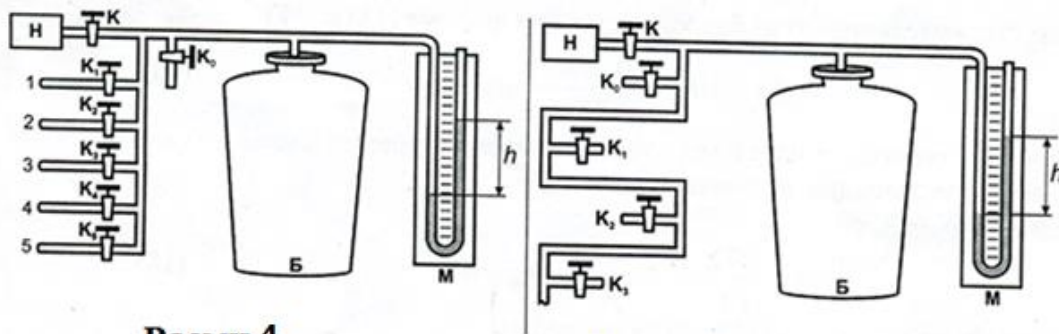
$$\langle l \rangle = \frac{2\eta}{\rho \langle g \rangle} \quad (17)$$

Формулаи (4) имконият медиҳад, ки аз рӯи  $\langle l \rangle$ -и муайяншуда диаметри эффективиро ҳисоб кунем:

$$d = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2\pi n \langle l \rangle}}} = \sqrt{\frac{0,23}{n \langle l \rangle}} \quad (18)$$

### Соҳти асбоб

Асбоб аз балони Б, манометри моеъгии М ва маҷмӯи капилларҳо (1-5), ки бо ҷумакҳои ( $K_1$ - $K_5$ ) ба балон пайвастанд, иборат мебошад. Фишори ҳаворо дар балон то бузургии лозимӣ бо ёрии компрессор ҳангоми кушода будани ҷумакҳои К ва маҳкам будани дигар ҷумакҳои ( $K_1$ - $K_5$ ) ва  $K_0$  баланд намудан мумкин аст. Ҷумакҳои  $K_0$  барои ниҳоят тез аз балон сар додани ҳаво истифода мешавад. Дар асбобҳои капилларҳо, ё ки буришҳои гуногун параллел (расми 4) пайвастанд, ё ки буришҳои якхела пай дар пай (расми 5). Дар мавриди маҳкам будани ҷумакҳои К ва  $K_0$  ҷумакҳои  $K_1$ -ро кушодан (дигар ҷумакҳои  $K_2$ - $K_5$  маҳкам) ҳаво аз капиллари якум ҷорӣ мешавад. Агар ҷумакҳои  $K_2$ -ро кушоем (дигар ҷумакҳои  $K_1$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  ва  $K_5$  маҳкам), ҳаво аз капиллари 2 ҷорӣ мегардад ва ғ.



Расми 4

Расми 5

Дар асбоби дигар (расми 5) ҳангоми кушода будани ҷумакҳои  $K_1$  ҳаво аз капиллари якум мебарояду ҳангоми кушода будани ҷумакҳои  $K_2$  ҳаво аз капилларҳои пай дар пай пайвасти 1 ва 2 мебарояд, ки ба баромадани ҳаво аз капиллари дарозташ  $l_1 + l_2$  эквивалент мебошад. Агар ҷумакҳои  $K_5$ -ро кушоем, ҳаво аз панҷ капиллари пай дар пай ҷорӣ мешавад, ки ба ҳавои аз капиллари дарозташ  $l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$  баромада баробар аст. Эзоҳ: буриши лӯлаҳои пайвастандан аз буриши капилларҳо хело калон аст ва муқовимати онҳо амалан баробари сифр аст (формулаи Пуазейл).

### Тавсифи усули андозагирӣ

Агар дар балон фишори иловагӣ ба атмосферӣ ( $P_0$ )  $\Delta P = P - P_0 = \rho_m gh$ -ро ба вучуд орем ( $\rho_m$ -зичии моеъи манометр,  $h$ -фарқи сатҳҳои моеъ) ва капилларро бо атмосфера пайвандем, дар тӯли вақти  $dt$  аз капиллар миқдори ҳавои массааш  $dm$  қорӣ мешавад:

$$dm = \rho dV \quad (19)$$

Ин ҷо  $\rho$ -зичии ҳаво дар капиллар, ки ба фишори ҳаво вобаста аст (формулаи 5),  $dV$ -ҳаҷми ҳавои хориҷшуда аст.

Фишори ҳаво дар капиллар аз  $P_0$  то  $P_0 + \rho_m gh$  тағйир меёбад, аммо азбаски  $P_0 \gg \rho_m gh$  аст, фишори ҳаворо дар капиллар баробар ба атмосферӣ  $P_0$  қабул намудан мумкин аст. Аз ин рӯ зичии ҳаво (аз муодилаи Менделеев-Клапейрон):

$$\rho = \frac{P_0 M}{RT} \quad (20)$$

Ҳаҷми ҳавои дар тӯли вақти  $dt$  аз капиллар гузашта ( $dV$ ) бо формулаи Пуазейл (6) муайян карда мешавад:

$$dV = \frac{\pi r^4}{8\eta L} \Delta P \Delta t = \frac{\pi r^4}{8\eta L} \rho_m gh \Delta t \quad (21)$$

мебошад.

Бо истифодаи формулаҳои (20) ва (21) массаи ҳавои аз балон баромадаро меёбем:

$$dm = \rho dV = \frac{P_0 M}{RT} \frac{\pi r^4}{8\eta L} \rho_m gh \Delta t \quad (22)$$

Аз муодилаи ҳолати гази идеалӣ тағйироти массаи газ  $dm$ -ро дар балон бо камшавии фишор ифода менамоем.

Азбаски  $dP = \rho_m gh$  мебошад, таносуби зерин қой дорад:

$$dm = \frac{MV_6}{RT} dP = \frac{MV_6}{RT} \rho_m gh \quad (23)$$

Аз муодилаҳои (22) ва (23)  $dm$ -ро хориҷ карда, ифодаи зеринро ҳосил менамоем:

$$-\frac{dh}{h} = \frac{P_0 \pi r^4}{V_6 8L\eta} dt \quad (24)$$

Ин муодиларо дар ҳудуди тағйироти фишор аз  $\rho_m gh_0$  то  $\rho_m gh$  дар муддати гузаронидани таҷриба  $t$  интегронида ҳосил менамоем:

$$\ln h = \ln h_0 - \frac{\pi P_0 r^4}{8V_6 L \eta} t \quad (25)$$

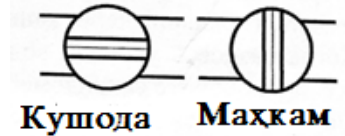
Ҳамин тавр, формулаи (25) фарқи фишорҳоро дар охириҳои капиллар бо вақти қоришавии ҳаво  $t$ , часпакии он ва андозаҳои капиллар  $r$  ва  $L$  вобаста менамояд.

### Супориши 1. Санҷиши таҷрибавии формулаи қорӣ

1. Дар ҷадвали 1 бузургии фишори атмосферӣ  $P_0$  ва параметрҳои асбоб: радиус  $r$  ва дарозии яке аз капилларҳо  $L$ , ҳаҷми балон  $V_6$ -ро қайд намоед.

Эзоҳ: Дар асбобе, ки капилларҳо параллел пайвастанд, капиллари радиусаш хурдтаринро интихоб намоед. Дар асбобе, ки капилларҳо пай дар пай васланд, таҷрибаро бо ҳамаи капилларҳои пай дар пай пайвастанда гузаронидан ба мақсад мувофиқ аст.

2. Ҳангоми маҳкам будани ҳамаи чумакҳо чумаки К-ро кушода, ба балон то фарқи фишорҳо 200...250 мм сутуни обӣ шудан ҳаворо ба воситаи компрессор дохил намоед. Чумаки К бояд маҳкам бошад. Ҳангоми зер карда дошта истодани тугмача компрессор ба кор мебарояд.



Расми 6

3. Барои дар зарф фишор барқарор гардиданаш 1-2 дақиқа интизор шавед ва баъд чумаки К<sub>1</sub>-ро кушоед ва дар як вақт секундомерро ба кор дароред.

4. Баъди он ки фишор ба қадри  $\Delta h=20$  мм кам шуд, чумаки К<sub>1</sub>-ро маҳкам намоеду секундомерро ҳам нигоҳ доред. Дар ҷадвали 1 фишори боқимонда  $h$  ва вақтро мувофиқи нишондоди секундомер қайд намоед.

5. Андозагириро якчанд маротибаи дигар такрор намоед ва ҳар дафъа бузургии  $\Delta h$ -ро аз пештарааш ба 20...30 мм зиёд гиред. Бузургии ибтидоии  $h_0$ -ро барои ҳамаи андозагириҳо баробар гиред. Натиҷаҳоро дар ҷадвали 1 қайд намоед.

Ҷадвали 1

h, мм	t, с	$\ln(h_0/h)$	
			$V_6=0,021$ м <sup>3</sup>
			$P_0=$ Па
			$r=$ мм
			$L=$ мм
			$h_0=$ мм

6.  $\ln(h/h_0)$ -ро ҳисоб кунед ва графики вобастагии  $\ln(h/h_0)$  аз вақт (t)-ро созед. Аз рӯи графики ҳосилшуда ба дурустии формулаи корӣ хулоса бароред.

7. Бузургии коэффисиенти кунҷӣ К-ро аз графики хатти рост ҳисоб намоед.

8. Бузургии коэффисиенти кунҷии ёфтаатонро истифода бурда, аз  $K = \frac{\pi P_0 r^4}{8 V_6 L \eta}$  коэффисиенти часпакии ҳаво  $\eta$  -ро барои шароити таҷрибаи гузаронидаатон муайян намоед. Ба хатоҳои мутлақ ва нисбии андозагирии  $\eta$  баҳо диҳед ва натиҷаро дар намуди интервали боварибахш нависед.

9. Бузургии ҳосилнамудаатонро бо бузургии ҷадвалии он муқоиса карда хулоса бароред.

## Супориши 2. Муайян кардани коэффисиенти часпакии ҳаво

1. Дар ҷадвали 2 бузургии фишори атмосферӣ  $P_0$  ва параметрҳои асбоб: радиус  $r$  ва дарозии яке аз капиларҳо  $L$ , ҳаҷми балон  $V_6$ -ро қайд намоед.

2. Ҳангоми маҳкам будани чумакҳои К<sub>0</sub>-К<sub>5</sub> чумаки К-ро кушода ба балон то фарқи фишорҳо 200...250 мм сутуни обӣ шудан ҳаворо бо во-

ситай компрессор дохил намоед. Чумаки К-ро маҳкам кунед. (Ҳангоми зер карда дошта истодани тугмача компрессор ба кор медарояд)

3. Барои дар зарф фишор барқарор гардиданаш 1-2 дақиқа интизор шавед (фарқи сатҳҳои об дар манометр дигар тағйир намеёбад) ва баъд ҳамон чумаке(К<sub>1</sub>-К<sub>5</sub>)-ро кушоед, ки интихоб намудед. Ҳаво аз балон бо воситаи капиллар баромадан мегирад.

4. Вақте ки фарқи баландии об дар манометр то бузургии интихобшудаи  $h_0$  расид, секундомерро ба кор дароред.

5. Баъди он ки фишор дар балон 3-5 маротиба кам шуд, чумакро маҳкам намоеду дар як вақт секундомерро ҳам нигоҳ доред. Дар чадвали 2 фишори боқимондари дар балон  $h$  ва вақтро аз рӯи нишондоди секундомер қайд намоед.

Чадвали 2

№б/т	t,с	h, мм	$h_0/h$	$\ln(h_0/h)$	
1					$V_6=0,021 \text{ м}^3$
2					$P_0= \text{Па}$
3					$r= \text{мм}$
4					$L= \text{мм}$
5					$h_0= \text{мм}$
Қимати миёна					

6. Андозагириро якчанд маротибаи дигар такрор намоед ва ҳар дафъа вақти таҷрибаро ихтиёрӣ интихоб намоед.

7. Бузургиҳои  $h_0/h$ ,  $\ln(h_0/h)$ , қимати миёнаи вақти таҷриба,  $\langle \ln h_0/h \rangle$  ва бузургии  $h$ -ро, ки бо формулаи (25) ҳисоб карда шудааст, ба чадвал гузоред.

8. Ба хатоии муайяннамоии коэффисиенти часпакӣ баҳо диҳед ва бо бузургии чадвалӣ муқоиса намоед. Аз натиҷаҳои таҷриба хулоса бароред.

**Супориши 3. Муайян кардани коэффисиентҳои дифузия ва гармигузаронӣ, дарозии миёнаи дави озод ва диаметри эффективии молекулаи ҳаво**

- Бузургиҳои барои коэффисиенти соиши дохилӣ дар супориши 2 ҳосил намудаатонро дар чадвали 3 гузоред.
- Суръати миёнаи арифметикиро бо ёрии формулаи (16) ва зичии ҳаворо бо ёрии формулаи (15) ҳисоб кунед.
- Формулаи (17)-ро дар назар дошта, дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои ҳаво ва формулаи (18)-ро истифода бурда диаметри эффективии молекулаи ҳаворо аз рӯи натиҷаҳои андозагирӣ муайян намоед.
- Бо истифода аз формулаҳои:

$$D = \frac{\eta}{\rho}, \quad \chi = \eta C_v \text{-ро}$$

коэффисиентҳои диффузия ва гармигузарониро барои ҳаво аз рӯи натиҷаҳои коэффисиенти часпакӣ ҳисоб намоед.

5. Қимати миёнаи бузургӣҳо, хатоҳои мутлақ ва нисбиро муайян кунед.
6. Натиҷаҳои ҳосилкардаатонро дар ҷадвали 3 қайд намоед.
7. Маълумотҳои дар ҷадвали 3 ҷамъшударо таҳлил ва маънидод кунед.

Ҷадвали 3

№ б/т	$\eta$ , Па·с	$\langle \rho \rangle$ , м/с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\langle l \rangle$ , м	$d$ , м	$D$ , м <sup>2</sup> /с	$\chi$ , Вт/К м
1							
2							
3							
4							
5							
Қимати миёна							
Хатоии мутлақ							
Хатоии нисбӣ							

Эзоҳ: Пеш аз ҳисоботро тартиб додан натиҷаҳоро ба устод нишон диҳед.

### Масъалаҳо барои корҳои санҷишӣ

1. Гази идеалӣ дар зарфи ҳаҷмаш хеле калон дар температураи  $T$  ва фишори  $P$  ҷойгир аст. Ба флукуатсияи нисбии адади молекулаҳои газ  $\frac{\sigma_m}{\langle m \rangle}$  дар ҳаҷми хурди  $V$ , ки ҳиссаи ҳаҷми зарф мебошад, баҳо диҳед.
2. Бархӯрди молекулаи гази идеалии тунук гоҳ-гоҳ ва тасодуфӣ рӯй медиҳад. Ба ҳисоби миёна молекула дар як сония ба  $z=2$  бархӯрд дучор мешавад. Эҳтимолияти он, ки дар муддати вақти  $t=5$  с молекула як бархӯрд мекунад, ба чӣ баробар аст?
3. Адади молекулаҳоро дар ҳаҷми  $V=10^{-6}$  м<sup>3</sup> ва зичии нитрогенро дар фишори  $P=3 \cdot 10^6$  Па ва температураи  $T=300$  К муайян намоед.
4. Зичии омехтаи газҳои нитроген ва гидроген дар температураи  $T=320$  К ва фишори  $P=2 \cdot 10^5$  Па ба  $0,3$  кг/м<sup>3</sup> баробар аст. Концентрацияи молекулаҳои гидрогенро дар омехта ёбед.
5. Дар ҳаҷми  $1,5$  л массаи  $2$  кг газ зери фишори  $133,3$  кПа дар температураи  $17$  °С ҷойгир аст. Муайян карда шавад: а) миқдори модда; б) массаи молӣ; в) адади молекулаҳо; г) суръати миёнаи квадратӣ; д) энергияи миёнаи кинетикии ҳаракати пешраванда; е) концентрацияи молекулаҳо.

6. Гази массааш 6 кг дар таҳти фишори 200 кПа ҳаҷми 4,9 м<sup>3</sup>-ро ишғол менамояд. Суръати миёнаи квадратии молекулаҳои газ дар ин шароит чӣ қадар аст?
7. Нитрогени газшакл дар температураи  $T=300\text{K}$  ҷойгир аст. Нисбати адади молекулаҳои нитрогенро бо ташкилдиҳанда (компонента)-ҳои суръати қад-қади меҳвари  $x$  дар фосилаи  $v_{1x} = 300 \pm 0,31$  м/с ба адади молекулаҳо бо ташкилдиҳандаҳои суръат, қад-қади ҳамин меҳвар, дар фосилаи  $v_{2x} = 500 \pm 0,51$  м/с ёфта шавад.
8. Температураи гази нитроген  $T$ -ро, ки дар он суръатҳои молекулаҳо  $v_1 = 300$  м/с ва  $v_2 = 300$  м/с ба қимати якандозаи функцияи таксимоти молекулаҳои гази идеалӣ мувофиқи суръаташон  $f(v)$  рост меоянд, ёбед.
9. Суръати молекулаҳои нитроген  $v$ -ро муайян намоед, ки ҳиссаи нисбии молекулаҳои дар температураи  $T$  суръаташон дар фосилаи  $(v, v+dv)$  ҷойгирбуда, ҳангоми температура  $\eta$  маротиба зиёд шудан ҳам, якандоза ҳисоб ёбанд.
10. Дар кадом температура  $T$ , гази аз омехтаи нитроген ва оксиген таркибёфта, суръати эҳтимолтарини молекулаҳои нитроген ва оксиген аз якдигар ба қадри  $\Delta v = 30$  м/с фарқ мекунад?
11. Омехтаи гидроген ва гелий дар температураи  $T$  ҷойгир аст. Дар кадом қимати суръати  $v$  ҳиссаи нисбии молекулаҳои ҳар як газ, ки суръаташон дар фосилаи  $(v, v+dv)$  меҳобанд, баробар мебошанд?
12. Газ аз молекулаҳои таркиб ёфтааст, ки массаи ҳар яки онҳо  $m$  аст. Дар кадом температураи газ  $T$ , адади молекулаҳои бо суръатҳои дар фосилаи  $(v, v+dv)$  воқеъгардида, максималӣ аст?
13. Гази идеалӣ дар температураи  $T$  ҷойгир аст. Қимати эҳтимолтарини энергияи кинетикии ҳаракати пешрави молекулаҳои газ  $\epsilon_3$ -ро ёбед.
14. Гидроген дар ҳолати мувозинати термодинамикӣ ҷойгир аст. Температураи газ  $T$ -ро муайян намоед, ки дар он қимати суръати миёнаи квадратии молекулаҳои гидроген аз суръати эҳтимолтарини он ба қадри  $\Delta v = 400$  м/с зиёд аст.
15. Оксиген дар ҳолати муозинати термодинамикӣ ҷойгир шудааст. Температураи газ  $T$ -ро муайян намоед, ки дар он функцияи таксимоти молекулаҳо мувофиқи суръаташон ҳангоми  $v = 420$  м/с максималӣ мешавад.
16. Кадом ҳиссаи нисбии молекулаҳои гази идеалии якатомаи дар мувозинати ҳароратӣ ҷойгирбуда, энергияи кинетикиаш аз қимати миёнаи ин энергия ба  $\pm 1\%$  фарқ мекунад?
17. Ҳиссаи нисбии молекулаҳои гази идеалиро, ки энергияи кинетикиашон дар ҳудуди аз 0 то қимати баробар ба  $0,01\epsilon_{\text{max}}$  меҳобанд, муайян намоед.
18. Агар температураи газро ду маротиба афзоиш диҳем, қимати максимуми функцияи таксимоти молекулаҳои гази идеалии якатома аз рӯи энергияи кинетикиаш  $f(\epsilon)$  чанд маротиба тағйир меёбад?

19. Гази идеалии тунуки массаи ҳар як молекулааш  $m$  дар зарфи девораи борики ҳаҷми  $V$  дар температураи  $T$  ҷойгир аст. Дар девори зарфи сӯроҳии хурде вучуд дорад, ки масоҳати он ба  $S$  баробар мебошад ва аз он газ ба вакуум ҷорӣ мешавад. Ҷоришавии газ ниҳоят суст ба амал меояд ва ҳолати мувозинатиро дар зарфи вайрон намекунад. Дар кадом тӯли вақти  $t$  фишори гази дохили зарфи 2 маротиба кам мешавад?
20. Бигузори  $\eta_0$ -нисбати консентратсияи молекулаҳои гидроген бар консентратсияи молекулаҳои нитроген дар сатҳи Замин ва  $\eta$  чунин нисбат дар баландии  $h$  бошад. Температураи  $T$ -ро ёбед, ки дар он нисбати  $\eta$  бар  $\eta_0$  ба 2 баробар бошад. Чунин ҳисобед, ки  $T$  ва шитоби афтиши озод  $g$  ба баландӣ вобаста нестанд.
21. Дар кадом баландӣ зичии ҳаво 50% аз зичии он дар сатҳи баҳрро ташкил медиҳад? Температура дар ҳама ҷо 290 К мебошад.
22. Зичии газ дар фишори нормалӣ  $\rho = 0,18$  кг/м<sup>3</sup> аст. Қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳои газро ёбед.
23. Дар температураи 290 К газ ҳаҷми  $10^{-3}$  м<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад. Фишори газро ба деворҳои зарфи муайян кунед, агар дар ин ҳаҷм  $10^{24}$  молекула бошад.
24. Қиматҳои миёнаи суръати квадратӣ, энергияи кинетикии молекулаҳои гелий ва нитрогенро дар температураи  $T = 290$  К муайян кунед. Энергияи дохилии ҳамаи молекулаҳои дар 100 г-и ҳар як газ ёфта шавад.
25. Омехтаи гелий ва нитроген дар температураи 300 К зери фишори  $1,3 \cdot 10^2$  Па ҷойгир аст. Массаи гелий 30%-и массаи умумии омехтаро ташкил медиҳад. Консентратсияи молекулаҳои ҳар як газро муайян намоед.
26. Барои протсеси  $P = P_0 - 4V^2$  температураи максималии имконпазирро муайян намоед.  $P_0$ - доимии мусбат,  $V$ - ҳаҷми як мол газ.
27. Барои протсеси  $P = P_0 \exp(-2V)$  температураи максималии имконпазирро муайян намоед.  $P_0$ - доимии мусбат,  $V$ - ҳаҷми як мол газ.
28. Барои протсесе, ки дар гази идеалӣ аз рӯи қонуни  $T = T_0 + 5V^2$  ба амал меояд, фишори камтарини имконпазирро муайян кунед.  $T_0$  ва  $\alpha$  - доимии мусбат,  $V$ - ҳаҷми як мол газ.
29. Дар кадом температура газе, ки аз омехтаи нитроген ва оксиген иборат аст, суръатҳои эҳтимолитарини молекулаҳои нитроген ва оксиген ба қадри  $\Delta v = 40$  м/с фарқ мекунад?
30. Омехтаи гидроген ва гелий дар температураи  $T = 400$  К ҷой гирифтааст. Барои кадом бузургии суръати молекулаҳо бузургии функсияи тақсимоти максвеллӣ  $F(v)$  барои ҳарду газ баробар мешавад?
31. Импулси эҳтимолитарини молекулаҳои гази гидрогенро дар температураи 300 К муайян намоед.
32. Гази идеалии массаи молиаш  $M$  дар майдони ҷозибавӣ якҷинса ҷойгир аст. Фишори газро ҳамчун функсияи баландӣ муайян кунед, агар дар  $h=0$  фишор  $P = P_0$  ва температура бо баландӣ чунин тағйир меёбад:  $T = T_0(1 - ah)$ ; ин ҷо  $a$ -доимии мусбат.

33. Гази идеалии массаи молиаш  $M$  дар майдони ҷозибай якҷинса ҷойгир аст. Фишори газро ҳамчун функсияи баландӣ муайян кунед, агар дар  $h=0$  фишор  $P=P_0$  ва температура бо баландӣ чунин тағйир меёбад:  $T = T_0(1 + ah)$ . Ин ҷо  $a$ -доимии мусбат.
34. Бигузур  $\eta_0$ - нисбати концентратсияи молекулаҳои гидроген ба концентратсияи молекулаҳои нитроген дар наздикии сатҳи Замин,  $\eta$ -хамин гуна нисбат дар баландии  $h$  бошад. Нисбати  $\frac{\eta}{\eta_0}$ -ро дар  $T$  муайян намоед. Шитоби афтиши озод ва температураро ба баландӣ новобаста ҳисобед.
35. Дар кадом баландӣ фишори ҳаво  $\beta\%$  аз фишор дар сатҳи баҳрро ташкил медиҳад? Температураи ҳаво доимӣ ва баробари  $T$ .
36. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаи оксиген дар фишори  $10^5$  Па ёфта шавад, агар коэффисиенти гармигузаронӣ дар ҳамин фишор ва температураи  $273$  К баробари  $2,4 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м К) бошад.
37. Адади дараҷаҳои озод  $i$ -ро барои молекулаҳои  $He$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  муайян намоед (молекулаи  $CO_2$  - хаттӣ; ҳамаи намудҳои ҳаракатро ба назар гиред).
38. Адади дараҷаҳои озод  $i$  барои молекулаи газ маълум аст. Қонуни баробартаксимшавии энергияро истифода бурда қимати миёнаи энергияи молекулаи гази идеалӣ  $\langle \epsilon \rangle$ -ро дар температураи  $T$  ва энергияи дохилии он  $U$ -ро муайян намоед, агар он: а)  $N$  молекула дошта бошад; б) ҳаҷми  $V$ -ро дар фишори  $P$  ишғол кунад. Ҳаҷми  $V$  -ро бо адади молҳои газ  $\nu$  ифода кунед.
39. Энергияи кинетикии ҳамаи молекулаҳои дар  $0,005$  кг оксиди карбон  $CO$  дар температураи  $290$  К чӣ қадар аст? Чӣ қадари он ба ҳаракати чархзании молекулаҳо рост меояд?
40. Энергияи кинетикии пурраи молекулаҳои нитрогенро, ки дар фишори  $2 \cdot 10^5$  Па ҳаҷми  $10^{-4}$  м<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад, муайян намоед.
41. Массаи молӣ, фишор ва зичии омехтаи  $10$  г гидроген ва  $112$  г нитрогенро ёбед, ки дар ҳаҷми  $2$  л дар температураи  $550$  К ҷойгиранд.
42. Миқдори  $56$  г нитрогенро аз температураи  $T_1=280$  К то температураи  $T_2=300$  К як маротиба изохорӣ ва маротибаи дигар изобарӣ гарм мекунанд. Дар ҳарду маврид миқдори гармии додашуда ва тағйироти энергияи дохилиро муайян намоед.
43. Миқдори  $0,5$  мол гази якатама аз  $V_1=10^{-3}$  м<sup>3</sup> то  $V_2=2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> аввало изобарӣ, сонӣ-изотермӣ васеъ мешавад. Дар кадом протсес кори иҷрокардаи газ зиёд аст ва чӣ қадар? Температураи ибтидоии газ  $T_2=300$  К аст.
44. Гази гидрогенро дар зарфи маҳкамаи ҳаҷмаш  $V$  дар фишори  $P_0$  аз температураи  $T_0$  то  $T$  хунук карданд. Миқдори гармии ҷудошударо муайян кунед.
45. Ҳангоми изобарӣ гарм кардани газ ба он чӣ қадар миқдори гармӣ бояд дод, то ки он кори  $A$ -ро иҷро намояд?
46. Массаи молии газ ёфта шавад, агар ҳангоми изобарӣ гарм кардани  $m$  кг-и газ ба қадри  $\Delta T$  назар ба изохорӣ гарм кардан он миқдори гармии ба  $\Delta Q$  зиёдтар сарф шавад.



47. Ба як мол гази идеалӣ миқдори гармии  $Q$  дода изобарӣ ба қадри  $\Delta T$  гарм карданд. Барои ин газ нисбати гармиғунҷоишҳо  $\gamma = C_p/C_v$  ёфта шавад.
48. Ду мол гази идеалиро, ки дар температураи  $T_0$  ҷойгир аст, изохорӣ сард гардониданд. Дар натиҷаи ин фишор  $n$ -маротиба кам шуд. Баъд газро изобарӣ то температураи  $T_0$  васеъ намуданд. Миқдори гармии қабул кардаи газ  $Q$ -ро муайян намоед.
49. Силиндри уфуқии аз ду тарафаш маҳкамаи ҳаҷмаш  $2V_0$  бо поршени озодҳаракаткунанда чунда аст, ки силиндрро ба ду қисми баробар тақсим мекунад. Дар ҳар як нимаи цилиндр гази идеалӣ дар температураи якандозаи  $T_0$  ва фишорҳои баробар ба  $P_0$  ҷойгир шудааст. Барои пружинаро изотермӣ кӯчонида ҳаҷми яке аз қисмҳои цилиндро назар ба дигараш  $n$ -маротиба калон кардан чӣ қадар кор бояд иҷро кард?
50. Се мол гази идеалии дар температураи  $T_0$  ҷойгир бударо изотермӣ  $n$ -маротиба васеъ ва баъд изохорӣ гарм карданд. Дар натиҷа фишори газ ба фишори ибтидоиаш баробар шуд. Нисбати гармиғунҷоишҳо  $\gamma = C_p/C_v$ -ро барои ин газ ёбед, агар ба он миқдори гармии  $Q$  дода шуда бошад.
51. Як мол оксигени температурааш  $T_0$ -ро адиабатӣ фишурданд, дар натиҷа, фишори он  $n$  маротиба афзуд. Дар ин маврид чӣ қадар кор иҷро мешавад?
52. Ҳаҷми ягон миқдор нитрогенро  $n$ -маротиба фишурданд: аввало адиабатӣ, сони изотермӣ. Ҳолатҳои ибтидоии газ дар ҳар ду маврид якхела буд. Нисбати корҳои барои фишориш иҷрошуда ( $\frac{A_s}{A_T}$ )-ро ёбед.
53. Дар дохили силиндри гарминагузаронандаи гази идеали доштагӣ поршени сабуки гармигузаронанда ҷойгир аст. Ҳангоми мувозинатӣ поршен силиндрро ба ду қисми баробар тақсим мекунад. Температураи газ  $T_0$  аст. Поршенро оҳиста ҷой иваз намуданд, ки нисбати ҳаҷми қисми калон ба ҳаҷми қисми хурд ба  $n$  баробар шуд. Температураи газро дар ҳолати интиҳой ёбед, агар нишондоди адиабатаи газ  $\gamma$  бошад.
54. Ҳаҷми як мол гази идеалии нишондоди адиабаташ  $\gamma$  мувофиқи қонуни  $V=a/T$  тағйир меёбад, ин ҷо  $a$ -доимист. Миқдори гармии дар ин протсес қабул кардаи газро муайян намоед, агар температура ба қадри  $\Delta T$  тағйир ёфта бошад.
55. Ҳангоми ягон протсеси политропӣ ҳаҷми аргон  $\alpha$ -маротиба афзоиш ёфт. Дар ин ҳолат фишор  $\beta$ -маротиба кам шуд. Газро идеалӣ ҳисобида, гармиғунҷоиши молии онро дар ин протсес ҳисоб кунед.
56. Як мол аргонро политропӣ бо нишондоди  $n$  васеъ намуданд. Дар ин ҳолат температураи газ ба қадри  $\Delta T$  тағйир ёфт. Кори иҷрокардаи газ  $A$  ёфта шавад.
57. Як мол гази идеалӣ бо нишондихандаи адиабатии  $\gamma$  дар протсесе иштирок мекунад, ки фишори он  $P \sim V^a$ - аст, ин ҷо  $a$ -доимӣ. Кори ба газ иҷрошудаи  $A$ , ҳангоми тағироти температураи он ба  $\Delta T$ , ёфта шавад.

58. Як мол гази идеалӣ ба нишондиҳандаи адиабатии  $\gamma$  дар протсесе иштирок мекунад, ки дар он фишори газ  $P \sim V^{\alpha}$  аст, ин ҷо  $\alpha$ -доимӣ. Дар ин протсес гармиғунҷоиши молии газ  $C$  ёфта шавад.
59. Гази идеалӣ бо нишондиҳандаи адиабатаи  $\gamma$  дар протсесе иштирок менамояд, ки энергияи дохилӣ  $U \sim V^{\alpha}$ , ин ҷо  $\alpha$  - доимӣ аст. Агар энергияи дохилӣ ба қадри  $\Delta U$  тағйир ёфта бошад кори ба газ иҷрошударо муайян намоед,
60. Гази идеалӣ бо нишондиҳандаи адиабатаи  $\gamma$  дар протсесе иштирок менамояд, ки энергияи дохилии он  $U \sim V^{\alpha}$ , ин ҷо  $\alpha$  - доимӣ. Гармиғунҷоиши молии газ дар ин протсес ёфта шавад.
61. Дар протсеси  $T = T_0 e^{aV}$ , ки ин ҷо  $T_0$  ва  $a$  доимианд, вобастагии гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ  $C$  ба ҳаҷм ёфта шавад. Гармиғунҷоиши молии газ ҳангоми доими будани ҳаҷм маълум аст.
62. Вобастагии гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ  $C$  ба ҳаҷм дар протсесе иштирок мекунад, ки фишораш мувофиқи қонуни  $P = P_0 e^{aV}$  (ин ҷо  $P_0$  ва  $a$  доимианд) тағйир меёбад, ёфта шавад. Гармиғунҷоиши молии газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_v$  маълум аст.
63. Як мол гази идеалӣ, ки гармиғунҷоишаш ҳангоми доимӣ будани фишор ба  $C_p$  баробар аст, дар протсесе иштирок мекунад ва фишораш мутобиқи қонуни  $P = P_0 + a/V$  ( $P_0$  ва  $a$ -доимӣ) тағйир меёбад. Гармиғунҷоиши ин газ  $C$ -ро ҳамчун функсияи ҳаҷми он ёбед.
64. Як мол гази идеалӣ, ки гармиғунҷоишаш ҳангоми доимӣ будани фишор ба  $C_p$  баробар аст, дар протсесе иштирок мекунад, ки фишораш мувофиқи қонуни  $P = P_0 + a/V$  ( $P_0$  ва  $a$ -доимӣ) тағйир меёбад. Миқдори гармии ҳангоми аз  $V_1$  ва  $V_2$  васеъшавӣ қабул кардаи газро ёбед.
65. Як мол гази идеалӣ, ки гармиғунҷоишаш ҳангоми доимӣ будани фишор ба  $C_p$  баробар аст, дар протсесе иштирок мекунад, ки температурааш аз рӯи қонуни  $T = T_0 + a/V$ , ( $T_0$  ва  $a$ -доимӣ) тағйир меёбад. Гармиғунҷоиши ин газ  $C$ -ро ҳамчун функсияи ҳаҷми он ёбед.
66. Як мол гази идеалӣ, ки гармиғунҷоишаш ҳангоми доимӣ будани фишор ба  $C_p$  баробар аст дар протсесе иштирок мекунад. Дар ин маврид температурааш мутобиқи қонуни  $T = T_0 + a/V$ , ( $T_0$  ва  $a$ -доимӣ) тағйир меёбад. Миқдори гармии қабул кардаи газро, ҳангоми аз  $V_1$  ва  $V_2$  васеъшавии он муайян кунед.
67. Тағйироти гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ аз рӯи қонуни  $C = C_v + aT$ , ки ин ҷо  $a$  доимӣ аст, ба амал меояд. Муодилаи ин протсесро дар тағирёбандаҳои  $T, V$  муқаррар намоед.
68. Муодилаи протсесро бо тағирёбандаҳои  $T, V$ , ҳангоми тағйирёбии гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ аз рӯи қонуни  $C = C_v + aV$  ( $a$ - доимӣ) ба амал меояд, муайян кунед.
69. Агар гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ чун  $C = C_v + \alpha p$  ( $\alpha$ -доимӣ) тағйир ёбад муодилаи протсесро бо параметрҳои  $T, V$ , нависед.
70. Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ бо нишондиҳандаи адиабатӣ  $\gamma$  ҳангоми ягон протсес мутобиқи қонуни  $C = \frac{\alpha}{T}$  ( $\alpha$ -доимӣ) тағйир меёбад.

Кори ичрокардаи як мол газро ҳангоми  $n$ -маротиба афзудани температураи он вобаста ба  $T_0$  ёбед.

71. Дар температураи  $T$  дар зарфи маҳкам  $\nu$  мол гелий ҷойгир аст. Чӣ миқдор гармии  $Q$  ба гелий бояд интиқол дод, то ки суръати миёнаи квадрати молекулаҳои он  $n$  маротиба зиёд шавад?

72. Ҳаҷми гази молекулаи дуатомаи гармиғунҷоиши молиаш  $C$  дар рафти протсеси политропӣ  $n$  маротиба афзуд. Дар ин ҳолат басомади зарбаҳои молекулаҳо ба девори зарф чанд маротиба тағйир ёфт?

73. Гази аз молекулаҳои дуатомаи саҳт таркиб ёфтaro политропӣ васеъ намуданд, аммо басомади зарбаҳои молекулаҳо ба деворҳои зарф тағйир наёфт. Гармиғунҷоиши молии газ  $C$ -ро дар ин протсес ёбед.

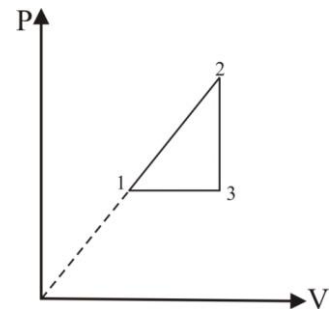
74. Гази идеалии якатома ро тавре гарм карданд, ки фишори он мутаносибан ба решаи квадратӣ аз температураи мутлақ ( $P \sim \sqrt{T}$ ), тағйир ёфта  $n$ -маротиба меафзояд. Баъд газро сард гардонданд, дар ин ҳолат фишори он мутаносибан ба температура ( $P \sim T$ ), то фишори ибтидоӣ кам мешавад. Баъди ин газ изобарӣ ба ҳолати аввалааш бармегардад. Коэффисиенти кори фойданоки муҳаррики ҳароратии бо чунин сикл дар амал буда ёфта шавад.

75. Дар мошини ҳароратӣ гази идеалӣ ба таври изотермӣ васеъ мешавад ва баъди изохори сардгардонӣ бо фишориши адиабатӣ ба ҳолати ибтидоӣ бармегардад. Дар ин ҳолат ККФ-и муҳаррик ба  $\eta$ , адади моли газ  $\nu = 2$  мол, гармиғунҷоиши молии газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_v$  ва тағйироти максималии температураи газ  $\Delta T$  мебошанд. Кори ичрокардаи газро ҳангоми васеъшавии изотермӣ ёбед.

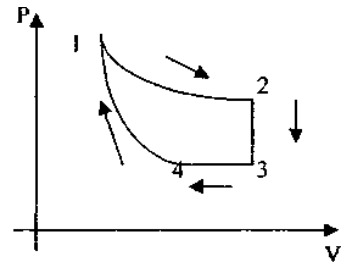
76. ККФ-и муҳаррики ҳароратиеро, ки гази идеалии дуатома ба сифати моддаи корӣ дар он истифода мешавад, ҳисоб кунед, агар сикли он аз ду изохора ва аз ду изобара иборат бошад. Нисбати фишор дар изобараҳо баробари  $\beta (> 1)$ , нисбати ҳаҷмҳо дар изохораҳо  $\alpha (> 1)$ .

77. Як мол гелий дар муҳаррики ҳароратӣ дар як сикл кори  $A$ -ро иҷро мекунад. Сикл аз адиабата, изобара ва изохора иборат аст. Фарқи максималии температураи гелий дар протсеси адиабатӣ  $\Delta T$  аст. Миқдори гармие, ки гелий ҳангоми протсеси изобарӣ бо ҳисмҳои беруна мубодила мекунад,  $Q$  ёфта шавад. Ба ҳисоб гиред, ки дар ин қисми сикл температураи гелий минималӣ мемонад.

78. Дар  $PV$ - диаграмма тағйирёбии ҳолати як мол гази идеалии якатома, ки ба сифати моддаи кории муҳаррики ҳароратӣ истифода мешавад, тасвир ёфтаст. Нисбати температураҳои максималӣ ва минималии он дар сикли додашуда  $n=4$  аст. ККФ-и ин сикл аз ККФ-и имконпазири максималӣ барои қимати додашудаи  $n$  чанд маротиба фарқ мекунад?



79. Мухаррики гармӣ, ки дар он ба сифати моддаи корӣ як мол гази идеалии дуатома истифода бурда мешавад, аз рӯи сикли дар  $PV$ -диаграмма тасвирёфта, ки аз ду адиабата, изохора ва изобара иборат аст, кор мекунад. ККФ-и ин сикл баробари  $\eta$  буданашро доништа, температураҳои минималӣ ва максималии газро ҳангоми протсеси изобарӣ баробари  $T_1$  ва  $T_2$  ҳисобида, миқдори гармии додаи газро дар сикл ёбед.

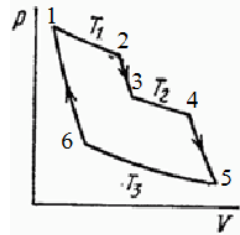


80. Мошини ҳароратии Карно, ки ККФ-аш ба  $\eta$  баробар аст, бо ҳамон гармидеху гармигираш ҳамчун мошини сардгардонанда истифода мешавад. Кадом миқдори гармии  $Q$ -ро ин мошин аз яхдон ба ҷисми корӣ дар як сикл мегузаронад, агар дар ҳар як сикл ба он қори  $A$  иҷро шавад.

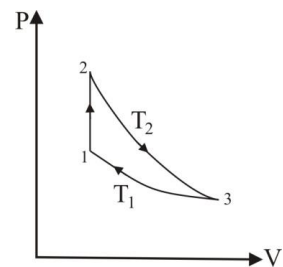
81. Мошини ҳароратии Карно ба сифати дастгоҳи сардгардонанда барои нигоҳ доштани температураи ягон асбоб дар температураи  $T_2$  истифода бурда мешавад. Температураи ҳавои атроф  $T_1$  ( $T_1 < T_2$ ). Чӣ қадар қори механикӣ барои иҷрои як сикли мошин талаб карда мешавад, агар дар ин сикл аз танаи асбоб миқдори гармии  $Q$  хорич шавад?

82. ККФ-и сикли бо гази идеалӣ гузаранда, ки аз ду изотерма бо температураҳои  $T_1$  ва  $T_2$  ва аз ду изохора бо ҳаҷмҳои  $V_1$  ва  $V_2$  ( $T_1 > T_2$ ,  $V_1 < V_2$ ) иборат аст, ёфта шавад. Гармиғунҷоиши газ  $C_v$ -ро маълум ҳисобед.

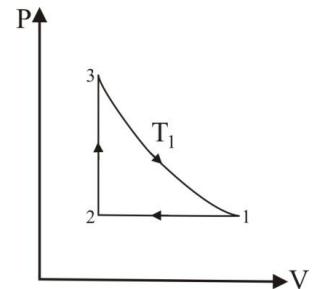
83. Дар расм диаграммаи сикли баргардандаи дар ягон мошини ҳароратӣ иҷрокардаи як мол гази идеалӣ тасвир ёфтааст. ККФ-и сикл  $\eta$ -ро ҳамчун функцияи температураҳои  $T_1$ ,  $T_2$  ва  $T_3$  ифода карда ёбед. Протсесҳои 2,3;4,5;6,1 адиабатӣ, нисбати  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  маълум аст.



84. Мошини ҳароратӣ, ки гази идеалӣ ба сифати моддаи корӣ истифода мешавад, сикли баргардандаро иҷро мекунад, ки аз изохораҳои 1,2, адиабатаҳои 2,3 ва изотермаҳои 3,1 иборат аст. ККФ-и мошин  $\eta$ -ро ҳамчун функцияи температураҳои максималӣ  $T_2$  ва минималӣ  $T_1$ , ки дар ин сикл газ дорад, ёбед.



85. Мошини ҳароратӣ, ки гази идеалӣ ба сифати моддаи корӣ истифода бурда мешавад, сикл иҷро мекунад, ки аз изотермаи 3,1 (температурааш  $T_1$ ), изобараи 1,2 ва изохораи 2,3 иборат аст. ККФ-и ин сикл  $\eta$ -ро ҳамчун функцияи температураҳои максималии  $T_1$  ва минималии  $T_2$ -и моддаи кории дар сикл иштироккандаро ёбед.



86. Афзоиши энтропияи як мол гази идеалӣ бо нишондиҳандаи адиабата  $\gamma$  ҳангоми  $n$  маротиба афзудани температураи он ёфта шавад, агар протсеси гармкунӣ изохорӣ бошад. Газро идеалӣ ҳисобед.

87. Чанд маротиба ҳаҷми  $\nu$ -мол гази идеалиро изотермӣ бояд зиёд кунем, то он ки энтропияи он ба қадри  $\Delta S$  афзояд?

88.  $\nu$ -мол гази идеалиро аввал изохорӣ сард карданд ва баъд изобарӣ чунон васеъ намуданд, ки температураи он ба температураи ибтидоиаш баробар шуд. Афзоиши энтропияи газ ёфта шавад, агар фишори он дар протсеси чоригардида  $n$  маротиба тағйир ёфта бошад.

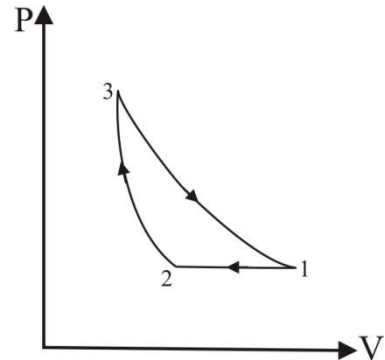
89. Гази идеалии массааш  $m$ , массаи молиаш  $M$  ва нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$ -ро адиабатӣ  $n$  -маротиба васеъ намуданд ва баъд изобарӣ то ҳаҷми аввалааш фишурданд. Тағйироти энтропияи газро дар ин протсес ёбед.

90. Афзоиши энтропияи  $\nu$ -мол гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$ -ёфта шавад, агар дар натиҷаи ягон протсес ҳаҷми газ  $\alpha$ -маротиба афзуда фишори он  $\beta$ -маротиба кам гардад.

91. Дар зарфҳои 1 ва 2 миқдори  $\nu$ -моли гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  ҷойгир аст. Нисбати ҳаҷми зарфҳо  $\frac{V_2}{V_1} = \alpha > 1$ , нисбати температураи газ дар онҳо  $\frac{T_2}{T_1} = \beta > 1$  аст. Фарқи энтропияҳои газ дар ин зарфҳо

$(S_2 - S_1)$ -ро муайян намоед.

92. Мошини ҳароратӣ, ки гази идеалӣ ба сифати моддаи корӣ истифода бурда мешавад, сикл баргардандаро иҷро мекунад, ки аз изобараи 1,2, адиабатаи 2,3 ва изотермаи 3,1 иборат аст. ККФ-и мошини  $\eta$ -ро ҳамчун функцияи температураҳои максималӣ  $T_1$  ва минималии  $T_2$ -и моддаи кории дар сикл истифода шуда ёбед.



93. Як мол гази идеалии нишондиҳандаи адиабатааш  $\gamma$  протсеси политропиеро иҷро мекунад, ки дар натиҷаи он температураи газ  $\tau$  маротиба меафзояд. Тағйироти энтропияи газро дар ин протсес ёбед.

94. Протсеси васеъшавии  $\nu$ -мол гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  тавре мегузарад, ки фишори газ ба ҳаҷми он мутаносибан меафзояд. Тағйироти энтропияи газро ҳангоми  $\alpha$ -маротиба афзудани ҳаҷми он муайян намоед.

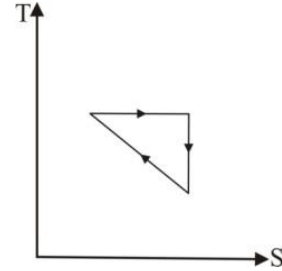
95. Як мол гази идеалӣ протсесеро иҷро мекунад, ки дар он энтропияи газ ба температурааш бо қонуни  $S = aT + C_v \ln T$  тағйир меёбад (ин ҷо  $a$ -доимии мусбат ва  $C_v$ -гармиғунҷоиши молии гази муайян ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм аст). Муайян кунед, ки дар ин протсес температураи газ ба ҳаҷми он чӣ тавр вобаста аст, агар ҳангоми  $V = V_0$  будан температура  $T = T_0$  бошад.

96. Ҳангоми температураҳои хеле паст гармиғунҷоиши кристалҳо вобаста ба температура чун  $C = aT^3$  тағйир меёбад, ки ин ҷо  $a$ -доимӣ аст. Энтропияи кристалро ҳамчун функцияи температура дар ин соҳа ёбед.

97. Ҳангоми гармиғунҷоиши модда баробари  $C$  будан температураи моддаро ҳамчун функцияи энтропияи он дар протсеси политропӣ ёбед. Дар температураи  $T_0$  энтропия баробари  $S_0$  буданастро ба эътибор гиред.

98. Як мол гази идеалӣ протсесеро иҷро мекунад, ки дар он энтропияи газ  $S$  ба температура  $T$  чунин вобаста мебошад:  $S = \frac{\alpha}{T}$ ,  $\alpha$  – доимӣ. Гармиғунҷоиши молии газ  $C$ -ро ҳамчун функцияи температураи  $T$  муайян намоед.

99. Моддаи корӣ сиклро иҷро мекунад, ки дар ҳудуди он температура  $n$ -маротиба тағйир меёбад ва ҳуди сикл дар расм тасвир ёфтааст. Ин ҷо  $T$ -температура,  $S$ -энтропия. ККФ.-сиклро ёбед.



100. Силиндри гарминагузарон ба воситаи поршени бевазн ба ду қисми баробар ҷудо мебошад. Аз як тарафи поршен як мол гази идеалии нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$  дар тарафи дигараш вакуум ҷойгир шудаанд. Температураи ибтидоии газ  $T_0$  аст. Поршенро сар доданд, дар натиҷа газ тамоми ҳаҷми цилиндро ишғол кард. Баъд поршенро оҳиста-оҳиста ба мавқеи аввалааш баргардонданд. Тағйироти энтропияи газро дар натиҷаи ҳар ду протсес ёбед.

101. Ду зарфи гармонагузарони якхеларо ба воситаи найчаи крандор пайвастанд, ки ҳар яке дорои як молӣ гази идеалии якхела мебошад. Температураи газ дар яке аз ин зарфҳо  $T_1$  ва дар дигараш  $T_2$  аст. Баъди кушодани кран газ ба ҳолати нави мувозинатӣ гузашт. Гармиғунҷоиши молии газ  $C_v$  буданастро доништа, афзоиши энтропияи газ  $\Delta S$ -ро ёбед. Нишон диҳед, ки  $\Delta S > 0$  аст.

102. Дар фишори нормалии атмосферӣ  $P_0$  температураи ҷӯшиши об  $T_0 = 373$  К, гармии хоси буғшавии об  $q$ , массаи моли он  $M$  мебошанд. Фишори сери буғи обро ҳангоми температураи  $T_1$  каме аз  $T_0$  зиёдтар будан муайян кунед. Чунин ҳисобед, ки буғ ба гази идеалӣ наздик аст.

103. Туршии сирко дар фишори атмосферӣ  $P_0$  дар температураи  $T$  ғудохта мешавад. Ҳаҷми хоси туршии сирко дар фазаи моеъгӣ  $V_1$  буда, дар фазаи сахтӣ  $\alpha$ -маротиба камтар аст. Нуқтаи ғудозиши он ҳангоми тағйироти фишор ба  $\Delta P$  ба  $\Delta T$  ( $\Delta T \ll T$ ) мекӯчад. Гармии хоси ғудозиши туршии сирко  $q$  ёфта шавад.

104. Дар зарфи маҳкамаи ҳаҷмаш  $V_0$  оби массааш  $m$  дар температураи  $t = 100$  °С ва дар болояш буғи сери он ҷойгир аст. Ҳангоми афзоиши температура ба қадри  $\Delta t = 1$  °С массаи буғи сер  $\Delta m$  чӣ қадар зиёд мешавад? Гармии хоси буғгардонии об  $q$  буданастро ба эътибор гиред. Буғи обро ба гази идеалӣ наздик ҳисобед. Фишори буғи сери об дар  $t = 100$  °С баробари  $P_0$  аст.

105. Дар температураи  $t_1 = 0$  °С фишори буғи сери болои ях ба  $P_1$  баробар аст. Гармии хоси ғудозиши ях ҳангоми  $t_1$  баробари  $q_1$  ва гармии хоси

буғшавии об дар ҳамин температура  $q_2$  аст. Фишори буғи обро дар болои ях ҳангоми  $t = -1$  °C будан муайян кунед.

106. Пори ях дар ҷилди адиабатӣ дар  $t = 0$  °C ва фишори нормалии атмосферӣ  $P_0$  ҷойгир карда шудааст. Ҳаҷми хоси об  $v_{об}$ , ях  $v_{ях}$ , гармии хоси гудозии ях  $q$ , гармиғунҷоиши ях  $C_{ях}$  буданаширо ба назар гиред. Агар яхро адиабатӣ то фишори  $P$  фишорем, кадом ҳиссаи он  $\left(\frac{\Delta m}{m}\right)$  об мешавад?

107. Вобастагии фишори буғи серро ба температура барои фосилаи на он қадар калони температура ёбед. Ба эътибор гиред, ки гармии хоси буғофарӣ  $q$  ба температура вобаста набуда, ҳаҷми хоси моеъ назар ба ҳаҷми хоси буғ хеле хурд мебошад. Буғро гази идеалӣ ҳисобед. Дар ҳолати ибтидоӣ фишори буғ  $P_0$  ва температурааш  $T_0$  аст.

108. Вобастагии фишори буғи сер  $P$  ба температура  $T$  ёфта шавад. Буғи серро ба гази идеалӣ наздик ва ҳаҷми хоси моеъ назар ба ҳаҷми хоси буғи сер хурд ҳисобида шавад. Гармии хоси буғофарӣ  $q = q_0 - aT$ , ки ин ҷо  $a = const$ . Массай молии модда  $M$  аст.

109. Афзоиши температураи ҷӯшиши об  $\Delta T$ -ро ҳангоми зиёдшавии фишори буғи сери он ба як атмосфера дар наздикии нуқтаи ҷӯшиши об дар шароитҳои нормалӣ ( $t = 100$  °C,  $P_0 = 1$  атм) ёбед. Гармии хоси буғшавии об дар ин шароит  $q$  аст. Буғро ҳамчун гази идеалӣ ҳисобед.

110. Гармии хоси буғшавии бензол  $q$ -ро дар наздикии нуқтаи сегонаи он ёбед, агар дар ин шароит гармии хоси гудозии он  $q_{эв}$  бошад. Температурай нуқтаи сегона  $T$ , фишори мувозинатии буғ дар нуқтаи сегона  $P$ , дар ин нуқта  $\frac{dP}{dT} = \alpha$  ( $\alpha = const$ ), буғи бензол ба гази идеалӣ наздик аст. Массай молии бензол  $M$  аст.

111. Ба сатҳи яхи температурааш  $t_1 = -1$  °C штангаи масоҳати асосаш  $S$ -ро гузоштанд. Ҳангоми ҷӣ қадар вазн доштани штанга яхи зери он ба обшавӣ сар мекунад? Гармии хоси обшавии ях  $q$ , ҳаҷми хоси ях ва об дар шароити нормалӣ  $v_{ях}$  ва  $v_{об}$ , температураи обшавии ях  $t_0 = 0$  °C мебошанд.

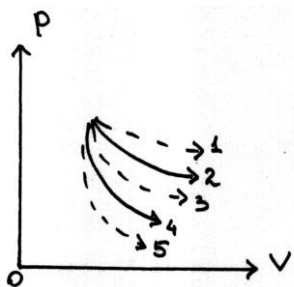
112. Оби массааш  $m$ -ро аз температураи  $t_1$  то  $t_2 = 100$  °C гарм карданд, ки ҳамаи он ба буғ табдил шуд. Гармиғунҷоиши хоси об  $C_p$ , гармии хоси буғшавӣ  $q$ . Афзоиши энтропияи система ёфта шавад.

113. Яхи температураи ибтидоиаш  $t_1 = 0$  °C дар натиҷаи гармкунӣ аввал ба об ва баъд дар температураи  $t_2 = 100$  °C ба буғ табдил ёфт. Гармии хоси гудозии ях  $q_1$ , гармии хоси буғшавии об  $q_2$  буда, гармиғунҷоиши хоси об  $C_p$  аст. Афзоиши энтропияи хоси система ёфта шавад.

114. Вобастагии энергияи дохилии гази система  $U(V, T)$  ба ҳаҷм ва температура маълум аст. Гармиғунҷоиши изохории системаро  $C_V$  ҳисоб кунед.

115. Муодилаи ҳолати гази идеалиро дар параметрҳои  $P$ ,  $V$  ва  $T$  нависед, агар  $C_p$  ва  $C_V$ -и он маълум бошад.





116. Дар  $P, V$  диаграмма якчанд протсесҳо тасвир ёфтаанд. Качии 2 - изотерма; качии 4 - адиабата. Аломати гармиғунҷоишро  $Q$  дар протсесҳои 1, 3, 5 муайян намоед. Дар протсесҳои 2 ва 4 гармиғунҷоиш чӣ қадар мебошад?

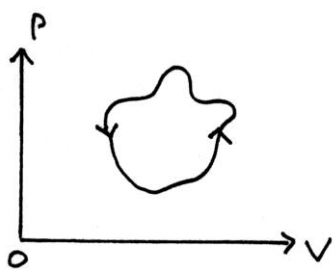
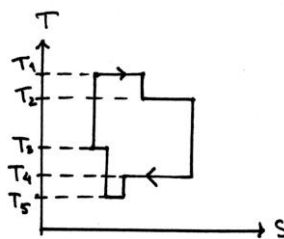


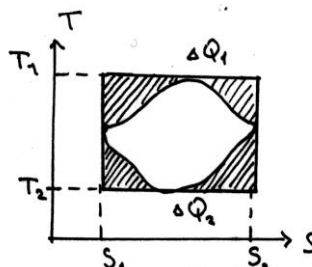
Рис. 27.

117. Дар расм протсеси даврӣ, ки дар ягон асбоб амалӣ мешавад, тасвир ёфтааст. Ин кадом асбоб аст: мошини ҳароратӣ ё яхдон?

118. Барои амалӣ шудани сикли дар расм тасвирёфта дар мошини ҳароратӣ чанд гармидеҳ ва чанд гармигир бо кадом температураҳо лозим мешаванд?



119. ККФ-и сикли дар расм тасвиршударо ҳисоб кунед. Бузургиҳои  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  ва масоҳатҳои штрихонидашуда  $\Delta Q_1$  ва  $\Delta Q_2$  маълуманд.



120. Гази идеалиро (нишондиҳандаи адиабатиаш  $\gamma$ ) аз ҳолати  $(P_1, V_1)$  ба ҳолати  $(P_2, V_2)$  мегузаронанд. Тағйироти энергияи дохилиро муайян намоед.

121. Ҳавои хонаро ҳангоми кушода будани бодхон (форточка) аз  $T_1$  то  $T_2$  гарм карданд. Энергияи дохилии ҳавои хона чӣ қадар тағйир ёфт?

122. Қонуни Дюлонг ва Птиро истифода бурда муайян намоед, ки гармиғунҷоиши хоси алюминий назар ба гармиғунҷоиши хоси платина чанд маротиба зиёд аст.

123. Дар балони ғунҷоишаш 15 л зери фишори 100 кПа дар температураи  $27^\circ\text{C}$  гази нитроген ҷойгир аст. Баъди он ки аз балон 14 г нитрогенро сар доданд, температураи газ  $17^\circ\text{C}$  шуд. Фишори нитрогени дар балон боқимондари муайян намоед.

124. Барои он ки энтропияи 5 мол гази идеалӣ ба қадри  $57,6$  Ҷ/К афзояд, ҳаҷми онро изотермӣ чанд маротиба васеътар кардан лозим мешавад?



125. Ду мол гази идеалиро аввал изобарӣ то ҳаҷмаш ду маротиба васеъ шудан гарм, баъд изохорӣ то ду маротиба паст шудани фишораш хунук карданд. Тағйироти энтропияро дар натиҷаи ин протсессҳо ёбед.
126. Дар гази идеалӣ сикли Карно гузаронида мешавад. Газ аз гармидеҳ  $5,5 \text{ кҶ}$  гармӣ гирифта, кори  $1,1 \text{ кҶ}$ -ро иҷро кард. Муайян намоед: а) ККФ-и ҳароратии сикл ва б) нисбати температураҳои гармидеҳ ва гармигирро.
127. Гази нитрогенро идеалӣ ҳисобида гармиғунҷоиши хоси онро дар протсессҳои изохорӣ ва изобарӣ муайян намоед.
128. Дар зарфи ғунҷоишаш  $5 \text{ л}$  дар шароити нормалӣ нитроген ҷойгир аст. Муайян намоед: а) миқдори модда; б) массаи нитроген ва в) концентратсияи молекулаҳои онро дар зарф.
129. Омехтаи  $56 \text{ г}$  нитроген ва  $64 \text{ г}$  оксиген дар зарфи маҳкам ҷойгиранд. Тағйироти энергияи дохилии ин омехтаро муайян намоед, агар онро ба қадри  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  сард гардонем.
130. Гармиғунҷоиши хоси гази якатомаи идеалиро муайян намоед, агар гармкунӣ чунон гузарад, ки суръати миёнаи квадратии ҳаракати ҳароратии молекулаҳои он (массаашон  $m$ ) мутаносибан ба фишор афзояд.
131. Тағйироти энтропияи  $2 \text{ мол}$  гази идеалиеро, ки нишондиҳандаи адиабатиаш  $1,3$  аст, муайян намоед, агар дар натиҷаи ягон протсесс ҳаҷмаш  $2$  маротиба зиёд шуда бошад фишораш  $3$  маротиба кам.
132. Миқдори  $2 \text{ л}$  нитроген зери фишори  $10^5 \text{ Па}$  ҷойгир аст. Ба он чӣ қадар гармӣ диҳем, ки:
- 1) дар фишори доимӣ ҳаҷмаш ду маротиба зиёд шавад;
  - 2) ҳангоми ҳаҷмаш доимӣ будан фишораш ду маротиба афзояд?
133. Зичии гидроген дар  $0^\circ\text{C}$  ва фишори  $10^5 \text{ Па}$  чӣ қадар аст? Дар ин шароит энергияи кинетикии ҳаракатҳои пешравии чархзании як молекуларо муайян намоед.
134. Адади молекулаҳои гидрогенро дар ҳаҷми  $10^{-6} \text{ м}^3$  ёбед, агар фишор  $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$  ва суръати миёнаи квадратӣ дар ин шароит  $900 \text{ м/с}$  бошад. Энергияи кинетикии ҳаракати пешравии як молекула чӣ қадар аст?
135. Ҳангоми васеъшавии адиабатии  $10 \text{ мол}$  нитроген температура аз  $300 \text{ К}$  то  $290 \text{ К}$  паст гардид. Баъд газро то температураи ибтидоиаш изохорӣ гарм карданд. Кори иҷрокардаи газ ва миқдори гармии гирифтаи онро муайян намоед. Протсессҳоро графикӣ тасвир созед.
136. Зичии газро муайян кунед, агар дар фишори  $10^6 \text{ Па}$  қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳои он  $1000 \text{ м/с}$  бошад.
137. Кореро, ки барои  $1 \text{ кмол}$  гелиро, ки дар температураи  $300 \text{ К}$  аст, фишурда ҳаҷмашро  $2$  маротиба хурд намудан иҷро мешавад, дар протсессҳои зерин муайян кунед: а) изотермӣ; б) изобарӣ.
138. Ҳаҷми ибтидоии  $1 \text{ кг}$  оксиген  $V_1=0,1 \text{ м}^3$  ва фишори ибтидоиаш  $P_1=5 \cdot 10^5 \text{ Па}$  мебошанд. Оксигенро то фишораш  $P_2=10 \cdot 10^5 \text{ Па}$  шудан дар ҳаҷми доимӣ гарм, баъд изотермӣ то фишори ибтидоиаш васеъ ва дар охир изобарӣ то ба ҳаҷми ибтидоиаш соҳиб шудан сард мекунанд. Тағйироти энергияи дохилӣ ва кори газро дар ин сикл ёбед. Дар координатаҳои  $P, V$  сиклро тасвир созед.

139. Оксигени массааш 3,2 кг - ро, ки дар температураи 300 К ҷойгир аст, адиабатӣ чунон мефишоранд, ки ҳаҷмаш 10 маротиба хурд мешавад. Температураи газро баъди фишурдан ва кори қувваҳои берунаро муайян намоед.
140. 0,01 кг оксиген дар температураи  $T=300$  К ва фишори ибтидоии  $6 \cdot 10^5$  Па то фишори атмосферии нормалӣ васеъ мешавад. Кори газро муайян кунед, агар васеъшавӣ: а) адиабатӣ; б) изотермӣ ба амал омада бошад.
141. Гармиғунҷоиши хоси омехтаи як кмол оксиген ва якчанд кмол аргон ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $430$  Ҷ/(кгК) аст. Миқдори аргонро дар омехта муайян намоед.
142. Гармиғунҷоиши хоси ягон гази бисёратомаро ҳангоми доимӣ будани фишор муайян намоед, агар маълум бошад, ки дар шароити нормалӣ зичии он  $\rho = 0,8$  кг/м<sup>3</sup> аст.
143. Газ сикли даврро иҷро мекунад, ки аз ду изотерма ва ду изобара иборат аст:  $T_2=1000$  К,  $T_1=700$  К,  $P_2=6 \cdot 10^5$  Па,  $V_1=5$  л. Кори газро дар сикл ҳисоб кунед.
144. Кори иҷрошуда ва фишори интиҳои гази бисёратомаро ҳангоми изотермӣ ва адиабатӣ васеъшавии он муайян намоед, агар дар ҳар ду маврид: ҳаҷми ибтидоӣ  $V_1=9 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>; фишори ибтидоӣ  $P_1=10^4$  Па, ҳаҷми интиҳӣ  $V_2=9 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> бошанд.
145. Гармиғунҷоишҳои хоси газ  $C_v=649$  Ҷ/(кгК) ва  $C_p=908$  Ҷ/(кгК). Массаси молии газ ва адади дараҷаҳои озоди молекулаҳои онро муайян намоед.
146. Нисбати  $C_p/C_v$  –ро барои омехтаи 8 г гелий ( $M_1=4 \cdot 10^{-3}$  кг/мол) ва 16 г оксиген ( $M=32 \cdot 10^{-3}$  кг/мол) муайян кунед.
147. Барои гарм кардани 40 г оксиген аз 300 К то 324 К гармии 635 Ҷ сарф шуд. Дар кадом шароит газ гарм карда шудааст (ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ё фишор)?
148. Нитрогене, ки дар фишори  $10^5$  Па ҳаҷми  $V=10^{-2}$  м<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад, ду маротиба васеътар мешавад. Фишори интиҳӣ ва кори иҷрокардаи газро дар мавридҳои зерин муайян намоед: а) протсеси изобарӣ; б) протсеси изотермӣ.
149. Сикле, ки 2 кмол гази якатамаи идеалӣ иҷро мекунад, аз изотерма, изобара ва изохора иборат аст. Протсеси изотермӣ дар температураи минималии сикл 400 К ба амал меояд. Ҳаҷми газ дар ҳудуди сикл 2 маротиба тағйир меёбад. Кори газро дар сикл ҳисоб кунед.
150. Дар температураи 273 К нитрогени массааш 0,07 кг дорои чӣ қадар энергияи дохилӣ мебошад? Эергияи ҳаракати пешравии молекулаҳои газро дар ин температура ёбед.
151. Энергияи дохилии оксигенро, ки дар зарфи ғунҷоیشаш  $V=10$  л, зери фишори  $P=5 \cdot 10^5$  Па ва температураи  $T_1=290$  К ҷойгир мебошад, ёбед. Барои изохорӣ то  $T_2=300$  К гарм кардани газ чӣ қадар гармӣ лозим мешавад?
152. Нитрогенро, ки дар фишори  $P_1=10^6$  Па ҳаҷми  $V_1=2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>-ро ишғол менамояд, адиабатӣ чунон васеъ карданд, ки фишораш  $P_2=10^5$  Па шуд. Кори васеъшавиро ёбед.

153. Нишондиҳандаи адиабатаро барои омехтае, ки аз  $\nu_1$  мол гази дуатома ва  $\nu_2$  мол гази якатома иборат аст, ҳисобед. Молекулаҳо сахтанд.
154. Адади дараҷаи озоди молекулаҳои газеро, ки дар шароити нормалӣ зичиаш  $1,15 \text{ мг/см}^3$  ва суръати паҳншавии садо дар он  $350 \text{ м/с}$  аст, муайян кунед.
155. Гази идеалие, ки сикли Карноро иҷро мекунад  $\frac{1}{3}$  ҳиссаи миқдори гармии аз гармидеҳ гирифтаашро ба гармигир медиҳад. Температураи гармигир  $T_2$  ба  $290 \text{ К}$  баробар аст. Температураи гармидеҳро муайян кунед.
156. Гази идеалӣ сикли Карноро иҷро мекунад. Температураи гармидеҳ аз температураи гармигир панҷ маротиба зиёд аст. Кадом ҳиссаи гармии аз гармидеҳ гирифтаашро газ ба гармигир медиҳад?
157. Гармиғунҷоиши молии гази идеалиро дар протсеси политропӣ ( $PV^n = \text{const}$ ) муайян намоед, агар нишондиҳандаи адиабатаи газ  $1,4$  бошад. Дар кадом бузургиҳои нишондиҳандаи политропа  $n$  гармиғунҷоиши газ манфӣ мешавад?
158. Гази идеалиеро, ки нишондиҳандаи адиабаташ  $1,4$  аст, мувофиқи қонуни  $P=2V$  васеъ карданд. Ҳаҷми ибтидоии газ  $V_0=5 \text{ л}$ . Дар натиҷаи васеъшавӣ ҳаҷм 3 маротиба афзуд. Муайян карда шавад: а) тағйироти энергияи дохилии газ; б) қори иҷрокардаи газ; в) гармиғунҷоиши моли газ дар ин протсес.
159. Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_V$  аст. Гармиғунҷоиши моли ин газро ҳамчун функсияи ҳаҷми он  $V$  муайян намоед, агар протсеси иҷрокардаи газ мувофиқи қонунҳои зерин ба амал ояд:  $T = T_0 e^{\alpha V}$ . Ин ҷо  $T_0$  ва  $\alpha$  – доимианд.
160. Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм  $C_V$  аст. Гармиғунҷоиши моли ин газро ҳамчун функсияи ҳаҷми он  $V$  муайян намоед, агар протсеси иҷрокардаи газ мувофиқи қонунҳои зерин ба амал ояд:  $P = P_0 e^{\alpha V}$  ( $P_0$  ва  $\alpha$  – доимӣ).
161. Муодилаи ҳолати гази идеалиро (дар тағйирёбандаҳои  $T, V$ ) муайян намоед, агар гармиғунҷоиши моли он мувофиқи қонунҳои зерин тағйир ёбад:  $C = C_V + aP$ . Ин ҷо  $a$  – доимӣ.
162. Муодилаи ҳолати гази идеалиро (дар тағйирёбандаҳои  $T, V$ ) муайян намоед, агар гармиғунҷоиши моли он мувофиқи қонунҳои зерин тағйир ёбад:  $C = C_V + \alpha T$ . Ин ҷо  $\alpha$  – доимӣ.
163. Муодилаи ҳолати гази идеалиро (дар тағйирёбандаҳои  $T, V$ ) муайян намоед, агар гармиғунҷоиши моли он мувофиқи қонунҳои зерин тағйир ёбад:  $C = C_V + \beta V$ . Ин ҷо  $\beta$  – доимӣ.
164. Як мол гази идеалӣ протсесеро иҷро менамояд, ки дар он энтропияи газ бо температура мувофиқи қонуни  $S = bT + C_V \ln T$  ( $a$  – доимӣ,  $C_V$  – гармиғунҷоиши моли ин газ ҳангоми доими будани ҳаҷм) тағйир ёбад. Вобастагии температураи газро ба ҳаҷми он дар ин протсес муайян намоед, агар ҳангоми  $V = V_0$  будан  $T = T_0$  монад.
165. Температура ва фишори критикиро барои буғи об ҳисоб кунед.

166. Доимихои Ван-дер-Ваалсро дониста истода, ёбед: а) ҳаҷми калонтаринеро, ки 1 кг об дар ҳолати моеъ ишғол мекунад; б) фишори зиёдтарини буғҳои сери обро.
167. Зичии буғҳои обро дар ҳолати бухронӣ ёбед.
168. Фишори зиёдтарини буғҳои сери обро муайян кунед.
169. Зичии критикии буғи об ёфта шавад, агар фишори критикиаш  $P_{кр}=22,1$  МПа ва температураи критикиаш  $T_{кр}=647$  К бошад. Ба ҳисоб гиред, ки буғи об ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекунад.
170. Ифодаро барои фишориши изотермии  $\beta_T$ -и гази Ван-дер-Ваалс ёбед.
171. Коэффисиенти температуравии васеъшавии  $\alpha$  барои гази Ван-дер-Ваалс ҳангоми доимӣ будани фишор ёфта шавад.
172. Ду балони ҳаҷмашон  $V_1=V_2=V=1$  л ба воситаи найчаи крандор ба ҳамдигар пайвастанд. Дар ҳаҷми  $V_1$  ҳаво дар зери фишори атмосферӣ ҷойгир буда, ҳаҷми  $V_2$  вакуум аст. Ба ҳисоб гиред, ки ҳаво ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекунад, деворҳои болоӣ ва найча адиабатианд. Муайян намоед, ки температураи газ баъди кушодани кран чӣ қадар тағйир меёбад. Температураи ибтидоӣ  $T=290$  К ва барои ҳаво  $a=0,1308$  Па м<sup>6</sup> мол<sup>-2</sup> аст.
173. Як мол нитроген дар ҷои ҳоли аз ҳаҷми  $V_1=1$  л то  $V_2=10$  л васеъ мешавад. Камшавии температура  $\Delta T$  –ро дар ин протсесс ёбед, агар доимии  $a$  дар муодилаи Ван-дер-Ваалс барои нитроген  $a=0,135$  Па м<sup>6</sup> мол<sup>-2</sup> бошад.
174. Ду зарфи ҳаҷмашон  $V_1$  ва  $V_2$  ба воситаи найчаи крандор пайваस्त карда шудаанд. Дар ҳар дуи ин зарфҳо ҳангоми маҳкам будани кран ба микдори 1 моли гази якхелаи ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекарда ҷойгир аст. То кушодани кран температураи газ дар ҳар ду зарф якандоза буда, ба  $T$  баробар аст. Температураи газ баъди кушодани кран чӣ қадар тағйир меёбад.
175. Нитроген дар температураи критикии  $147^{\circ}\text{C}$  ҳаҷми критикии  $V_{кр} = 0,12 \frac{\text{л}}{\text{мол}}$  –ро ишғол менамояд. Ба ҳисоб гиред, ки нитроген ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекунад. Камшавии температураи 7 г нитрогенро ҳангоми васеъшавии он аз  $V_1=5$  л то  $V_2=50$  л ёбед.
176. Ба як мол гази Ван-дер-Ваалс чӣ қадар микдори гармии  $Q$  бояд дод, то ки ҳангоми васеъшавии он аз  $V_1$  то  $V_2$  температурааш тағйир наёбад?
177. Як мол гази Ван-дер-Ваалс чӣ қадар микдори гармӣ бояд гирад, ки ҳангоми васеъшавии он аз  $V_1$  то  $V_2$  фишори он доимӣ монад ва ба  $P$  баробар бошад.
178.  $C_p - C_v$  –ро барои як мол гази Ван-дер-Ваалс муайян намоед.
179. Муодилаи политропиро барои гази Ван-дер-Ваалс нависед, ба ҳисоб гиред, ки  $C$  ба температура вобаста нест.
180. Нишон диҳед, ки гази ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итоат мекарда бо  $a=0$  дар таҷрибаи Ҷоул-Томсон ҳамеша гарм мешавад. Афзоиши температураро ҳангоми васеъшавӣ муайян намоед.

181. Нишон диҳед, ки гази ба муодилаи Ван-дер-Ваалс итлоат мекарда бо  $b=0$  дар таҷрибаи Чоул-Томсон ҳамеша сард мешавад. Пастшавии температураро ҳангоми васеъгардиданаш муайян кунед.

182. Дар кадом температура  $T$  гелий дар таҷрибави Чоул-Томсон ба сардшавӣ сар мекунад, агар маълум бошад, ки температураи критикии гелий  $T_k=5,1$  К аст. Ба ҳисоб гиред, ки ҳолати гелий бо муодилаи Ван-дер-Ваалс ифода мешавад.

183. Дар ҳаҷми  $1 \text{ м}^3$  миқдори  $0,25$  кмол ягон газ ҷойгир аст. Барои то ҳаҷми  $1,2 \text{ м}^3$  васеъ намудани газ ба муқобили қувваҳои ҷозибаи байни молекулавӣ  $1,42$  кҶ кор иҷро карда шуд. Доимии  $a$ -ро дар муодилаи Ван-дер-Ваалс муайян намоед.

184. Муодилаи Ван-дер-Ваалсро барои параметрҳои овардашуда нависед. Аз муодила истифода бурда, муайян намоед, ки температураи газ аз температураи критикии он чанд маротиба зиёд аст, агар фишораш назар ба фишори критикӣ  $10$  маротиба зиёд ва ҳаҷмаш аз ҳаҷми критикӣ ду маротиба хурд бошад.

185. Газ дар ҳолати бухронӣ аст. Агар дар як вақт температура ва ҳаҷмашро  $3$  маротиба зиёд кунем, фишораш назар ба фишори критикӣ чанд маротиба фарқ мекунад?

186. Дар натиҷаи ягон протсесс коэффисиенти часпакии гази идеалӣ  $\alpha=3$  маротиба афзуду коэффисиенти диффузияш  $\beta=5$  маротиба. Фишори газ чӣ тавр ва чанд маротиба тағйир ёфт?

187. Нишондиҳандаи политропии протсесеро, ки дар гази идеалӣ мегузарад, муайян намоед, агар коэффисиенти интиқоли зерин доимӣ монад: а) диффузия, б) часпакӣ, в) гармигузаронӣ.

188. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои нитрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед. Диаметри молекулаҳои нитроген  $0,3$  нм.

189. Коэффисиенти диффузияи гидрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар дарозии миёнаи дави озодаш  $0,32$  мкм бошад.

190. Коэффисиенти часпакии нитрогенро дар шароити нормалӣ муайян намоед, агар коэффисиенти диффузия барои он  $1,56 \text{ м}^2/\text{с}$  бошад.

191. Коэффисиенти гармигузаронии гидрогенро муайян намоед, агар коэффисиенти часпакиаш  $4,3$  мкПа с бошад.

192. Коэффисиенти гармигузаронии ҳаворо дар фишори  $150$  кПа ва температураи  $300$  К муайян намоед. Диаметри молекулаи ҳаворо  $0,3$  нм ред.

193. Газҳои туршии оксиген ва гидроген дар температура ва фишорҳои баробар ҷойгиранд. Барои ин газҳо нисбатҳои зеринро муайян намоед: а) коэффисиенти диффузия; б) часпакӣ; в) гармигузаронӣ. Диаметри молекулаҳои газҳоро баробар ҳисобед.

194. Байни деворҳои зарфи Дюар фишор аз кадом бузургӣ кам гардад, ки он ҷо вакуум ҳисобида шавад, агар масофаи байни деворҳо  $1$  см ва температура  $27$  °С бошад? Диаметри эффекивии молекулаҳои ҳаворо  $0,27$  нм қабул намоед.

195. Гази идеалӣ дар зарфи цилиндрии амудии масоҳати асосаш  $S$  ва баландиаш  $h$  дар майдони якҷинсаи қуваи вазнинӣ дар температураи  $T$  ҷойгир шудааст. Фишори газ дар савияи асосии поёни  $P_0$  ва массаи ҳар як молекулаи газ  $m$  аст. Массаи газ дар зарф  $m$  муайян карда шавад.
196. Дар температураи  $T$  дарозии миёнаи дави озоди молекулаи нитрогени дар зери фишори  $p=10^5$  Па ҷойгирбуда  $\langle l \rangle$  назар ба масофаи миёнаи байни молекулаҳои он  $d$  чанд маротиба зиёд аст?
197. Дар протсеси адиабатӣ дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо ба рои гази дуатома ба температура чӣ гуна вобастагӣ дорад?
198. Дар протсеси изохорӣ адади бархӯрди молекулаҳои газ дар воҳиди вақт ба температура чӣ тавр вобаста аст?
199. Агар газ адиабатӣ  $n$  маротиба васеъ карда шавад, адади зарбаҳои молекулаҳои гази дуатома ба сатҳи девори зарф дар воҳиди вақт чанд маротиба тағйир меёбад?
200. Дар мавриди ҳаҷми газро изобарӣ  $n$  маротиба зиёд кардан, коэффисиенти диффузияи газ чӣ хел тағйир меёбад?
201. Дар ҳоли ҳаҷми гази аз молекулаҳои дуатома таркиб ёфтара адиабатӣ  $10$  маротиба кам кардан, часпакии он чӣ гуна тағйир меёбад?
202. Ду диски якхелаи паралел, ки тирҳояшон бо ҳамдигар мувофиқ аст, дар масофаи  $h$  аз якдигар ҷойгиранд. Радиуси ҳар як диск ба  $R$  баробар ва  $h \ll R$  аст. Яке аз дискҳо бо суръати кунҷии на он қадар калони  $\omega$  чарх мезанад, дигаре ором аст. Моменти қувваи соиши ба диски ором таъсир овар ёфта шавад, агар часпакии гази байни дискҳо ба  $\eta$  баробар бошад.
203. Дар охири лӯлаи цилиндршакли дарозиаш  $\ell$  ва радиусаш  $R$ , ки аз он моеъи часпакиаш  $\eta$  ҷорист, фарқи фишорҳои  $P$  нигоҳ дошта мешаванд. Вобастагии суръати қабатҳои моеъ ба масофаи онҳо то тири лӯла ёфта шавад.
204. Коэффисиенти гармигузаронии нитроген дар шароитҳои нормалӣ ба  $\chi = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$  баробар аст. Андозаи молекулаи нитрогенро ёбед.
205. Коэффисиенти гармигузаронии ҳаво дар шароитҳои нормалӣ ба  $\chi = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$  баробар аст, бузургии ин коэффисиент дар температураи  $50^\circ\text{C}$  чӣ қадар мешавад?
206. Ҳавз бо қабати яхи ғафсиаш  $h_1=5$  см пӯшида шудааст. Баъди чанд муддат ғафсии ях ба  $h_2=10$  см баробар мешавад, агар температураи ҳаво дар ин муддат ба  $T=263$  К баробар бошад? Барои ях: зичӣ  $\rho=900\text{кг/м}^3$ , гармии хоси обшавӣ  $\lambda=3,33 \cdot 10^5$  Ҷ/кг, коэффисиенти гармигузаронӣ  $\chi=2,1 \cdot 10^6$  Вт/(м К) мебошад.

### Супоришҳои тестӣ

1. Барои тадқиқи системаҳои зарраҳои зиёд кадом методҳоро истифода бурдан мумкин аст?

1. Методи статистикӣ; 2. методи динамикӣ; 3. методи термодинамикӣ.

Ҷавоби пурраро интихоб намоед:

А) 1; Б) 2; В) 3; Г) 1,3; Д) 1,2.

2. Қимат ва мазмуни физикавии адади Авогадроро нишон диҳед.

А)  $10^{-8}$  см, яъне чунин аст, тартиби андозаи молекула; Б) Дар  $1 \text{ см}^3$ -и гази дилхоҳ, дар шароити муътадил,  $2,69 \cdot 10^{19}$  молекула мавҷуд аст;

В) 1 моли ҳаргуна модда  $6,023 \cdot 10^{23}$  молекуларо дарбар мегирад;

Г) Дар  $1 \text{ м}^3$ -и гази дилхоҳ дар шароити муътадил  $2,69 \cdot 10^{25}$  молекула мавҷуд мебошад; Д) Дар 1 моли ҳар гуна газ дар шароити муътадил  $2,69 \cdot 10^{25}$  молекула мавҷуд аст.

3. Кадоме аз мулоҳизаҳои зерин ҳаракати броуниро пурра тавсиф мекунад?

А) Сабаби ҳаракати молекулаҳо таъсири қувваҳои қозибавӣ ва таладиҳӣ мебошад; Б) Ҳаракати ҳароратии молекулаҳо;

В) Ҳаракати бетартибонаи бефосилаи молекулаҳо;

Г) Ҳаракати молекулаҳо дар газҳо ва моеъҳоро шарҳ додан мумкин нест;

Д) Ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо;

4. Массай молекулаи гидроген чанд аст?

А)  $1,2 \cdot 10^{-27}$  кг; Б)  $3,3 \cdot 10^{-27}$  кг; В)  $6 \cdot 10^{-27}$  кг; Г)  $5,8 \cdot 10^{-27}$  кг; Д)  $7,1 \cdot 10^{-27}$  кг.

5. Равғани  $0,25$  кг дар бензин ҳалшударо ба сатҳи об рехтанд. Он ба масоҳати  $1 \text{ км}^2$  паҳн гардид ва равған қабати тунукеро ҳосил намуд. Агар ғафсии қабати равған тақрибан ба андозаи молекула баробар бошад, диаметри молекулаи равғанро муайян кунед. Зичии равған  $920 \text{ кг/м}^3$  аст.

А)  $2,71 \cdot 10^{-10}$  м; Б)  $2,71 \cdot 10^{-9}$  м; В)  $2,71 \cdot 10^{-11}$  м; Г)  $2,71 \cdot 10^{-8}$  м; Д)  $2,71 \cdot 10^{-7}$  м.

6. Дар  $1 \text{ см}^3$  об чандто молекула мавҷуд аст? Массай молекулаи об  $2,99 \cdot 10^{-26}$  кг, зичии об  $1000 \text{ кг/м}^3$  буданаширо ба эътибор гиред.

А)  $3,33 \cdot 10^{22}$ ; Б)  $4,45 \cdot 10^{22}$ ; В)  $6,32 \cdot 10^{22}$ ; Г)  $7,37 \cdot 10^{22}$ ; Д)  $8,92 \cdot 10^{22}$ .

7. Массай атоми карбон чӣ қадар аст?

А)  $0,99 \cdot 10^{-26}$  кг; Б)  $1,99 \cdot 10^{-26}$  кг; В)  $2,99 \cdot 10^{-26}$  кг;

Г)  $3,99 \cdot 10^{-26}$  кг; Д)  $4,99 \cdot 10^{-26}$  кг.

8. Дар ҳисме, ки  $1,204 \cdot 10^{24}$  молекула дорад, чӣ қадар микдори модда мавҷуд аст? Адади Авогадро  $6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$ .

А) 1,5 мол; В) 2 мол; С) 2,5 мол; Г) 3 мол; Д) ҷавоби дуруст нест

9. Адади молекулаҳои дар  $2$  кг гази карбонат мавҷудбударо ёбед. Массай як молекулаи гази карбонат  $2,73 \cdot 10^{-26}$  кг аст.

А)  $0,7 \cdot 10^{25}$ ; Б)  $7,3 \cdot 10^{25}$ ; В)  $2,71 \cdot 10^{25}$ ; Г)  $3,71 \cdot 10^{25}$ ; Д)  $4,7 \cdot 10^{25}$ .

10. Дар  $27$  г алюминий чандто молекула ҳаст? Массай молии алюминий  $0,027 \text{ кг/мол}$  аст.

А)  $0,08 \cdot 10^{22}$ ; Б)  $1,08 \cdot 10^{22}$ ; В)  $2,08 \cdot 10^{22}$ ; Г)  $3,08 \cdot 10^{22}$ ; Д)  $6,023 \cdot 10^{23}$ .

11. Массай молии озон ( $\text{O}_3$ )-ро муайян кунед.

А)  $38 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; Б)  $48 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; В)  $58 \cdot 10^{-3}$  кг/мол;

Г)  $68 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; Д)  $78 \cdot 10^{-3}$  кг/мол.

12. Оксигени массааш  $32$  г чӣ микдор модда дорад?

А) 1 мол; Б) 4 мол; В) 6 мол; Г) 7,7 мол; Д) 10 мол.

13. Массай 20 мол асетилен ( $C_2H_2$ ) чй қадар аст?  
 А) 0,32 кг; Б) 0,42 кг; **В) 0,52 кг**; Г) 0,62 кг; Д) 0,82 кг;
14. Дар 5,4 кг рехтаи алюминий чй миқдор модда ҳаст? Массай молии алюминий 0,027 кг/мол аст.  
 А) 100 мол; Б) 150 мол; **В) 200 мол**; Г) 300 мол; Д) 450 мол.
15. Ҳаҷми 10 мол мисро муайян кунед. Зичии мис  $8400 \text{ кг/м}^3$  ва массай молиаш  $63 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ .  
 А)  $35 \text{ см}^3$ ; **Б)  $75 \text{ см}^3$** ; В)  $85 \text{ см}^3$ ; Г)  $45 \text{ см}^3$ ; Д)  $25 \text{ см}^3$ .
16. Дар  $9 \text{ см}^3$ -и об чанд молекула ҳаст? Зичии об  $1000 \text{ кг/м}^3$ .  
 А)  $1,2 N_A$ ; Б)  $1,5 N_A$ ; В)  $2,5 N_A$ ; Г)  $0,9 N_A$ ; **Д)  $0,5 N_A$** .
17. Хосиятҳои кадом газҳо ба гази идеалӣ наздик аст?  
**А) Газҳои тунук**; Б) Газҳои фишурдашуда;  
 В) Ҳам газҳои тунук ва ҳам газҳои фишурдашуда;  
 Г) Газҳои фишораи аз 100 атм зиёд;  
 Д) Дар байни ҷавобҳои А-Г ҷавоби дуруст ҷой надорад.
18. Барои он ки газ идеалӣ ҳисобида шавад, дар он кадом хусусиятҳоро ба инобат нагирифта мумкин аст?  
 1. Андозаи молекулаҳо; 2. Ҳамтаъсироти молекулаҳо хангоми бархӯрд; 3. Ба якдигар бархӯрдани молекулаҳо; 4. Массай молекулаҳо;  
**5. Ҳамтаъсироти молекулаҳо дар масофа.**  
 Ҷавоби пурраро интихоб кунед.  
 А) 1, 2; Б) 3, 4; В) 4, 5; Г) 4; **Д) 1, 5**.
19. Массай молӣ ва массай молекулаи об ( $H_2O$ )-ро муайян намоед.  
 А)  $26 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ;  $8,6 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ ; Б)  $76 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ;  $8 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ ;  
**В)  $18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ;  $3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$** ; Г)  $12 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ;  $2,4 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ ;  
 Д)  $6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/мол}$ ;  $6,02 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ .
20. Дар катраи оби массааш 0,18 г чанд молекула мавҷуд аст?  
 А)  $2,1 \cdot 10^{21}$ ; Б)  $3,4 \cdot 10^{21}$ ; В)  $4,6 \cdot 10^{21}$ ; **Г)  $6,02 \cdot 10^{21}$** ; Д)  $9,2 \cdot 10^{21}$ .
21. Массай молекулаи гелий чй қадар аст?  
 А)  $1,2 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ; Б)  $3,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ; В)  $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ; Г)  $5,8 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ; **Д)  $6,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$** .
22. Массай 50 мол гази карбонатро, ки массай молиаш  $0,044 \text{ кг/мол}$  аст, муайян намоед.  
 А) 4 кг; Б) 3 кг; В) 1 кг; **Г) 2,2 кг**; Д) 3,6 кг.
23. Миқдори модда бо кадоме аз воҳиди зерин ифода меёбад?  
 А) кг; Б) кг/мол; **В) мол**; Г) мол<sup>-1</sup>; Д) Ҷ/мол.
24. Дар 14 г нитроген чандто молекула мавҷуд аст? Массай молии нитроген  $0,028 \text{ кг/мол}$ .  
 А)  $10^{23}$ ; Б)  $5 \cdot 10^{23}$ ; В)  $3,3 \cdot 10^{23}$ ; **Г)  $3 \cdot 10^{23}$** ; Д)  $2,8 \cdot 10^{23}$ .
25. Дар шароити муътадил  $22,4 \text{ л}$  – и ҳаво чанд молекула дорад?  
**А)  $6 \cdot 10^{23}$** ; В)  $5 \cdot 10^{23}$ ; В)  $6 \cdot 10^{26}$ ; Г)  $5 \cdot 10^{21}$ ; Д)  $4 \cdot 10^{28}$ .
26. Оксигени массааш 64 г чй миқдор модда дорад?  
 А) 1 мол; **Б) 2 мол**; В) 6 мол; Г) 2,7 мол; Д) 10 мол.
27. Массай 10 мол бензол ( $C_6H_6$ ) чй қадар аст?  
 А) 0,42 кг; Б) 0,62 кг; В) 0,32 кг; **Г) 0,78 кг**; Д) 0,52 кг.



28. Дар 1 л об чанд молекула мавҷуд аст? Массай молекулаи об  $2,991 \cdot 10^{-26}$  кг, зичии об  $1000$  кг/м<sup>3</sup>.  
 А)  $3,33 \cdot 10^{25}$ ; Б)  $4,45 \cdot 10^{25}$ ; В)  $6,32 \cdot 10^{25}$ ; Г)  $7,37 \cdot 10^{25}$ ; Д)  $8,92 \cdot 10^{25}$ .
29. Адади атомҳои дар 56 г оҳан мавҷудбударо муайян кунед. Массай молиии оҳан  $0,056$  кг/мол аст.  
 А)  $0,08 \cdot 10^{22}$ ; Б)  $1,08 \cdot 10^{22}$ ; В)  $2,08 \cdot 10^{22}$ ; Г)  $3,08 \cdot 10^{22}$ ; Д)  $6,023 \cdot 10^{23}$ .
30. Дар 54 г об чанд мол молекула ҳаст?  
 А) 2 мол; Б) 3 мол; В) 4 мол; Г) 5 мол; Д) 6 мол.
31. Шаш грамм буғи об чанд молекула дорад?  
 А)  $2 \cdot 10^{23}$ ; Б)  $3 \cdot 10^{23}$ ; В)  $4 \cdot 10^{23}$ ; Г)  $5 \cdot 10^{23}$ ; Д)  $6 \cdot 10^{23}$ .
32. Ҳаҷми массай додашудаи газ дар температураи доимӣ ба фишори он мутаносиби чаппа аст. Ин таърифи  
 А) қонуни Шарл, Б) қонуни Бойл-Мариотт; В) қонуни Гей-Люссак;  
 Г) қонуни Далтон; Д) қонуни Амаго.
33. Дар фишори доимӣ барои массай бетағйири газ қонуни зерин ҷой дорад:  
 А) қонуни Шарл, Б) қонуни Бойл-Мариотт; В) қонуни Гей-Люссак;  
 Г) қонуни Далтон; Д) қонуни Амаго.
34. Барои омехтаи газҳое, ки ҳамтағсиrotи химиявӣ надоранд, қонуни зерин иҷро мешавад:  
 А) қонуни Шарл, Б) қонуни Бойл-Мариотт;  
 В) қонуни Гей-Люссак; Г) қонуни Далтон; Д) қонуни Авогадро.
35. Барои кафшери металҳо ва ҳӯлаҳои онҳо дар газҳои инертӣ гелий зери фишори  $1,5 \cdot 10^7$  Па дар балонҳо истифода мешавад. Концентрасияи молекулаҳои гелийро дар балон дар температураи  $27^\circ\text{C}$  муайян намоед.  
 А)  $3,07 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>; Б)  $3,47 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>; В)  $3,27 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>; Г)  $3,57 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>; Д)  $3,7 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>.
36. Техникаи муосир имкон медиҳад, ки вакууми ниҳоят баланд тақрибан  $10^{-7}$  Па ҳосил карда шавад. Ҳангоми чунин вакуум дар камераи гунҷоишаш  $5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup> дар температураи  $27^\circ\text{C}$  чанд молекула боқӣ мемонад?  
 А)  $1,2 \cdot 10^9$ ; Б)  $1,5 \cdot 10^9$ ; В)  $1,2 \cdot 10^{10}$ ; Г)  $1,4 \cdot 10^9$ ; Д)  $1,2 \cdot 10^{11}$ .
37. Дар фишори 10 атм ва температураи  $100^\circ\text{C}$  як киломол гази идеалӣ чӣ қадар ҳаҷмро ишғол менамояд?  
 А)  $1,05$  м<sup>3</sup>; Б)  $3,07$  м<sup>3</sup>; В)  $3,70$  м<sup>3</sup>; Г)  $5$  м<sup>3</sup>; Д)  $2,5$  м<sup>3</sup>.
38. Дар цилиндр зери поршен буғи об дар температураи  $100^\circ\text{C}$  ва фишори 40 кПа ҷойгир аст. Агар изотермӣ ҳаҷми онро 5 маротиба хурд кунем, фишор дар цилиндр чӣ қадар мешавад?  
 А)  $10^5$  Па; Б)  $1,1 \cdot 10^5$  Па; В)  $0,98 \cdot 10^5$  Па; Г)  $2 \cdot 10^5$  Па; Д)  $1,5 \cdot 10^5$  Па.
39. Як киломол гази идеалӣ дар фишори 1 МПа ва температураи 400 К чӣ қадар ҳаҷмро ишғол мекунад?  
 А)  $3,32$  м<sup>3</sup>; Б)  $2,32$  м<sup>3</sup>; В)  $4,32$  м<sup>3</sup>; Г)  $5,32$  м<sup>3</sup>; Д)  $1,32$  м<sup>3</sup>.
40. Ба омехтаи 1 кг нитроген ва 1 кг гелий дар шароити нормалӣ чӣ қадар ҳаҷм мувофиқ меояд?  
 А)  $1,5$  м<sup>3</sup>; Б)  $3,7$  м<sup>3</sup>; В)  $6,4$  м<sup>3</sup>; Г)  $5,3$  м<sup>3</sup>; Д)  $2,5$  м<sup>3</sup>;

41. Газе, ки дар зарфи ғунҷоишаш 20 л дар температураи  $27\text{ }^\circ\text{C}$  ва фишори 50 атм чойгир аст, чанд молекула дорад?

А)  $2,5 \cdot 10^{23}$ ; Б)  $5,2 \cdot 10^{23}$ ; В)  $1,5 \cdot 10^{23}$ ; Г)  $2,47 \cdot 10^{25}$ ; Д)  $3,5 \cdot 10^{23}$ .

42. Оксиген дар балони ғунҷоишаш 15 л таҳти фишори 60 атм воқеъ гаштааст. Температураи муҳити атроф  $250\text{ K}$  мебошад. Масаи оксиген муайян карда шавад.

А) 0,4 кг; Б) 1,4 кг; В) 2,4 кг; Г) 3,4 кг; Д) 4,4 кг.

43. Дар балони ғунҷоишаш 32 л гази массааш 4 кг ва температурааш  $40\text{ }^\circ\text{C}$  таҳти фишори 100 атм воқеъ аст. Масаи молии ин газро муайян намоед.

А)  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; Б)  $16 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; В)  $24 \cdot 10^{-3}$  кг/мол;

Г)  $32 \cdot 10^{-3}$  кг/мол; Д)  $44 \cdot 10^{-3}$  кг/мол.

44. Оксигени массааш 32 кг дар шароити муътадил чӣ қадар ҳаҷмро ишғол мекунад?

А)  $0,41\text{ м}^3$ ; Б)  $4,1\text{ м}^3$ ; В)  $6,081\text{ м}^3$ ; Г)  $10,091\text{ м}^3$ ; Д)  $22,4\text{ м}^3$ .

45. Зичии гидроген дар температураи  $323\text{ K}$  ва фишори 96 кПа муайян карда шавад.

А)  $0,021\text{ кг/м}^3$ ; Б)  $0,41\text{ кг/м}^3$ ; В)  $0,061\text{ кг/м}^3$ ;

Г)  $0,071\text{ кг/м}^3$ ; Д)  $0,091\text{ кг/м}^3$ .

46. Балони ғунҷоишаш 100 л ба қадри 5,76 кг оксиген дорад. Агар балон фишори то  $5 \cdot 10^5\text{ Па}$  –ро нигоҳ дошта тавонад, дар кадом температура хавфи кафидани он пайдо мешавад?

А)  $300\text{ K}$ ; Б)  $290\text{ K}$ ; В)  $280\text{ K}$ ; Г)  $288\text{ K}$ ; Д)  $313\text{ K}$ .

47. Ба зарфи ҳаҷмаш  $0,02\text{ м}^3$ , ки дар он гази фишорааш 400 кПа воқеъ гаштааст, зарфи холии ҳаҷмаш  $0,03\text{ м}^3$  –ро пайваस्त намуданд. Қимати интиҳои фишорро ёбед. Протсес изотермӣ аст.

А) 160 кПа; Б) 220 кПа; В) 320 кПа; Г) 420 кПа; Д) 520 кПа.

48. Ҳаҷми гази изобарӣ гармкарда 2 маротиба афзуд. Агар дар ибтидо температураи газ  $300\text{ K}$  бошад, температураи ин газ дар интиҳо чӣ қадар шуд?

А)  $600\text{ K}$ ; Б)  $150\text{ K}$ ; В)  $800\text{ K}$ ; Г)  $500\text{ K}$ ; Д)  $1000\text{ K}$ .

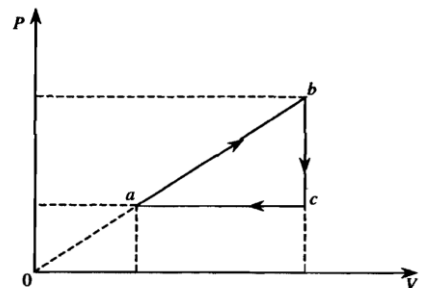
49. Ҳаҷми ишғолкардаи  $0,2\text{ кг}$  гидрогенро дар температураи  $293\text{ K}$  ва фишори 98,3 кПа ёбед.

А)  $0,1\text{ м}^3$ ; В)  $0,9\text{ м}^3$ ; Б)  $2,5\text{ м}^3$ ; Г)  $1,4\text{ м}^3$ ; Д)  $0,7\text{ м}^3$ .

50. Дар расм диаграммаи сикле, ки бо  $\nu$  мол модда мегузарад, дар координатаҳои  $P, V$  тасвир ёфтааст. Температураи газ дар нуқтаҳои а ва б мувофиқан  $T_a$  ва  $T_b$ . Температураи газ дар нуқтаи с:

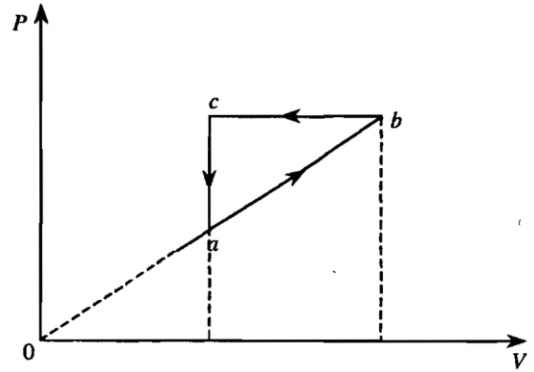
А)  $(T_a T_b)^{0,5}$ ; Б)  $T_a - T_b$ ; В)  $T_a + T_b$ ;

Г)  $2T_a^2/T_b$ ; Д)  $T_a + \frac{T_b}{2}$ .



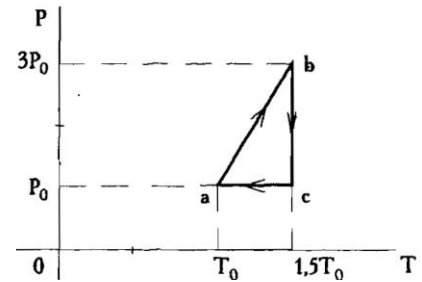
51. Дар расм диаграммаи сикле, ки бо  $\nu$  мол модда мегузарад, дар координатаҳои  $P, V$  тасвир ёфтааст. Температураи газ дар нуктаҳои  $a$  ва  $b$  мувофиқан  $T_a = T_0$  ва  $T_b$ , нисбати температураҳои максималӣ ва минималии сикл  $T_{max}/T_{min} = 4$ . Температураи газ дар нуктаи  $b$  ва  $c$  мувофиқан баробар ба:

- А)  $4T_0, 8T_0$ ; Б)  $T_0, 2T_0$ ; В)  $4T_0, 2T_0$ ;  
Г)  $4T_0, 3T_0$ ; Д)  $2T_0, 4T_0$  мебошад.



52. Дар расм  $P-T$ -диаграммаи сикле, ки бо  $\nu$  мол гази идеалӣ мегузарад, тасвир ёфтааст. Нисбати ҳаҷмҳои максималӣ ва минималӣ дар ин сикл:

- А) 1,5; Б) 6; В) 2,5; Г) 2; Д) 3.



53. Фишори гази оксигени дар зарф бударо ҳисоб кунед, агар зичиаш  $1,35 \text{ кг/м}^3$  ва суръати миёнаи квадрати маллекулаҳои он  $500 \text{ м/с}$  бошад.

- А)  $1,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; Б)  $1,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; В)  $1,45 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; Г)  $1,35 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; Д)  $1,125 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

54. Ҳаҷми гази ба тарзи изотермӣ васеъгардида аз  $10 \text{ л}$  то  $15 \text{ л}$  тағйир ёфт. Агар фишори ин газ то  $110 \text{ кПа}$  расида бошад, фишори ибтидоиаш чӣ қадар будааст?

- А)  $165 \text{ кПа}$ ; Б)  $220 \text{ кПа}$ ; В)  $55,5 \text{ кПа}$ ; Г)  $420 \text{ кПа}$ ; Д)  $100 \text{ кПа}$ .

55. Балон дар температураи  $25^\circ\text{C}$  оксигени фишурдашуда дорад, ки фишораш  $1,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$  мебошад. Дар рафти кафшери газӣ нисфи оксигенро сарф карданд. Агар температура то  $15^\circ\text{C}$  паст шуда бошад, фишореро, ки дар балон барқарор мешавад, муайян кунед.

- А)  $1,45 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; Б)  $1,55 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; В)  $1,35 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; Г)  $1,4 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; Д)  $1,2 \cdot 10^7 \text{ Па}$ .

56. Дар балони ғунҷоишаш  $100 \text{ л}$  газ зери фишори  $4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$  ҷойгир аст. Дар фишори атмосферии нормалӣ ( $1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) газ кадом ҳаҷмро ишғол мекунад? Температурааш тағйир намеёбад.

- А)  $45 \text{ л}$ ; Б)  $48,5 \text{ л}$ ; В)  $50 \text{ л}$ ; Г)  $55 \text{ л}$ ; Д)  $46,5 \text{ л}$ .

57. Дар ду зарфи ҳаҷмашон мувофиқан  $V$  ва  $2V$  гази якхела ҷойгир аст. Дар якумаш  $1 \text{ кмол}$  ва дар дуюмаш  $6 \text{ кмол}$  газ. Фишор дар зарфҳо баробар. Таносуби дурусти байни температураҳои зарфҳоро нишон диҳед.

- А)  $T_1 = 3T_2$ ; Б)  $T_1 = 6T_2$ ; В)  $T_1 = \frac{1}{3}T_2$ ; Г)  $T_1 = 12T_2$ ; Д)  $T_1 = \frac{1}{6}T_2$ .

58. Ҳангоми дар зарфи маҳкам 3 маротиба баланд шудани температураи фишори гази идеалӣ чанд маротиба тағйир меёбад?

- А) 3 маротиба меафзояд; Б) 3 маротиба кам мешавад;  
В) тағйир намеёбад; Г) 1,7 маротиба меафзояд;

Д) 1,7 маротиба кам мешавад.

59. Газ дар  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  ҳаҷми 6 л – ро ишғол менамояд. Агар ин газро изобарӣ ба  $77\text{ }^{\circ}\text{C}$  гарм намоянд, ҳаҷми он чӣ қадар мешавад?

А) 10 л; Б) 3 л; В) 7 л; Г) 2 л; Д) 2,4 л.

60. Аз зарф нисфи гази дар он бударо сар доданд. Температураи гази боқимондаро чӣ тавр тағйир диҳем, ки фишори газ аз авалааш 3 маротиба баланд шавад?

А) 4 маротиба кам; Б) 6 маротиба зиёд; В) 2 маротиба зиёд;

Г) 2 маротиба кам; Д) 6 маротиба кам.

61. Дар температураи  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  фишори газ дар зарфи маҳкам 75 кПа мебошад. Фишори ин газ дар температураи  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  чӣ қадар мешавад?

А) 20 кПа; Б) 65 кПа; В) 40 кПа; Г) 11 кПа; Д) 86 кПа.

62. Миқдори 100 мол симоб кадом ҳаҷмро ишғол менамояд? Зичӣ ва массаи молии симоб мувофиқан  $13,6 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$  ва  $0,2\text{ кг/мол}$  аст.

А)  $10^6\text{ м}^3$ ; Б)  $10^{-8}\text{ м}^3$ ; В)  $10^4\text{ м}^3$ ; Г)  $2 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3$ ; Д)  $1,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$ .

63. Газ дар температураи 300 К ҳаҷми 10 л-ро ишғол менамояд. Ин газро ба тарзи изобарӣ то кадом температура гарм кардан мебояд, ки ҳаҷми он 15 л шавад?

А) 200 К; Б) 450 К; В) 420 К; Г) 500 К; Д) 600 К.

64. Дар зарфи ҳаҷмаш 25,6 л таҳти фишори 3,5 МПа нитрогени массааш 1,04 кг мавҷуд аст. Температури газро муқаррар намоед.

А)  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Б)  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; В)  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Г)  $-370\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Д)  $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

65. Дар шароити муътадил  $44,8\text{ дм}^3$ -и ҳаво чандто молекула дорад?

А)  $6,023 \cdot 10^{23}$ ; Б)  $12 \cdot 10^{23}$ ; В)  $6 \cdot 10^{26}$ ; Г)  $6,7 \cdot 10^{21}$ ; Д)  $10^{23}$ .

66. Аз зарф нисфи гази дар он бударо сар доданд. Температури гази дар он боқимондаро чӣ тавр тағйир диҳем, то ки фишори он 4 маротиба афзояд?

А) 8 маротиба; Б) 4 маротиба; В) 2 маротиба;

Г) 16 маротиба; Д) 3 маротиба баланд кардан лозим аст.

67. Массаи ҳавои хонаи андозааш  $6 \times 5 \times 3\text{ м}$  дар температураи 290 К ва фишори 104 кПа муайян карда шавад. Массаи молии ҳаво  $0,029\text{ кг/мол}$  аст.

А) 112 кг; Б) 140 кг; В) 186 кг; Г) 208 кг; Д) 218 кг.

68. Агар дар температураи  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  фишори газ  $10^5\text{ Па}$  бошад, миқдори моддаи гази дохили зарфи ҳаҷмаш 10 л-ро ёбед.

А) 1 мол; Б) 2 мол; В) 3 мол; Г) 0,4 мол; Д) 0,5 мол.

69. Ҳаво дар таҳти фишори 50,65 кПа воқеъ гаштааст. Агар ҳангоми доимӣ будани температура фишори газ  $0,2026\text{ МПа}$  шавад, ҳаҷми он чӣ қадар тағйир меёбад?

А) 2- маротиба зиёд; Б) 2- маротиба кам; В) 4- маротиба зиёд;

Г) 4- маротиба кам мешавад; Д) бетағйир мемонад.

70. Дар балони ғунҷоишаш 15 л таҳти фишори 60 кПа оксиген воқеъ мебошад. Температури муҳити атроф 300 К аст. Массаи оксигени дохили балон муайян карда шавад.

А) 0,4 г; Б) 1,4 г; В) 2,4 г; Г) 3,4 г; Д) 11,52 г.

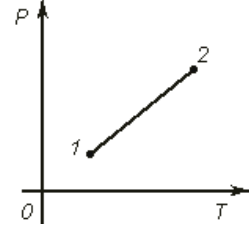
71. Дар температураи  $27^\circ\text{C}$  газ ҳаҷми  $10\text{ м}^3$ -ро ишғол менамояд. Ҳангоми доимӣ будани фишор ин газ дар температураи  $77^\circ\text{C}$  кадом ҳаҷмро ишғол мекунад?

А)  $2\text{ м}^3$ ; Б)  $7\text{ м}^3$ ; В)  $9\text{ м}^3$ ; Г)  $3\text{ м}^3$ ; Д)  $11,7\text{ м}^3$ .

72. Фишори ҳавои дохили зарф дар температураи  $27^\circ\text{C}$  ба  $1\text{ атм}$  баробар аст. Дар температураи  $450\text{ К}$  фишори он чӣ қадар мешавад?

А)  $1,5\text{ атм}$ ; Б)  $2\text{ атм}$ ; В)  $2,5\text{ атм}$ ; Г)  $0,5\text{ атм}$ ; Д)  $3\text{ атм}$ .

73. Дар график вобастагии фишори ягон газ ба температура нишон дода шудааст. Ҳангоми аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 гузаштан ҳаҷми газ чӣ тавр тағйир ёфтааст? Масса тағйир наёфтааст.



А) Тағйир наёфтааст; Б) афзудааст; В) кам шудааст;

Г) 2 маротиба афзудааст; Д) ду маротиба кам шудааст.

74. Дар мавриди изобарӣ гарм кардани гази идеалӣ аз температураи  $280\text{ К}$  зиҷии он ду маротиба кам шуд. Температура чӣ қадар баланд шудааст?

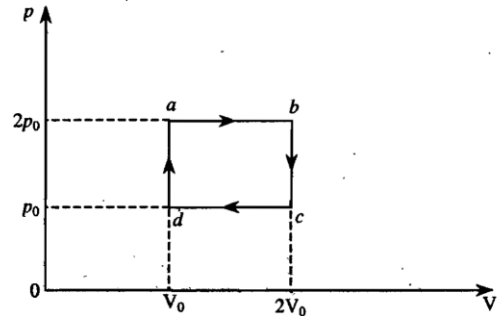
А)  $280\text{ К}$ ; Б)  $200\text{ К}$ ; В)  $180\text{ К}$ ; Г)  $300\text{ К}$ ; Д)  $380\text{ К}$ .

75. Дар расм  $PV$ -диаграммаи сикли  $abcd$ , ки бо  $\nu$  мол газ мегузарад, тасвир ёфтааст,

$P_0 V_0 = \nu R T_0$ . Температураи газ дар ҳолатҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ :

А)  $T_a = 2 T_0, T_b = 4 T_0, T_c = 2 T_0$ ; Б)  $T_a = 2 T_0, T_b = T_0, T_c = 4 T_0$ ; В)  $T_a = T_0, T_b = 2 T_0, T_c = T_0$ ; Г)  $T_a = 2 T_0, T_b = 4 T_0, T_c = 4 T_0$ ;

Д)  $T_a = 4 T_0, T_b = 2 T_0, T_c = 4 T_0$ .



76. Ҳангоми гузаронидани протсеси  $p = \text{const}/V^2$  гази идеалӣ аз ҳолати  $T_1=T, V_1=V$  ба ҳолати  $V_2=2V$  ва температураи  $T_2$ -и зерин мегузарад:

А)  $T/4$ ; Б)  $T/2$ ; В)  $4T$ ; Г)  $2T$ ; Д)  $T$ .

77. Кадоме аз формулаҳои зерин ҳамчун муодилаи асосии назарияи молекулавӣ-кинетикии газҳои идеалӣ доништа мешавад?

А)  $p = \frac{2}{3} n \langle \frac{m\bar{v}^2}{2} \rangle$ ; Б)  $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ ; В)  $pV = NkT$ ;

Г)  $pV = \nu RT$ ; Д)  $pV = \frac{m}{M} RT$ ;

78. Концентрасияи молекулаҳои газ дар температураи  $571\text{ К}$  ва фишори  $0,79\text{ МПа}$  муайян карда шавад.

А)  $15 \cdot 10^{25}\text{ м}^{-3}$ ; Б)  $13 \cdot 10^{26}\text{ м}^{-3}$ ; В)  $8 \cdot 10^{26}\text{ м}^{-3}$ ; Г)  $6 \cdot 10^{26}\text{ м}^{-3}$ ; Д)  $10^{26}\text{ м}^{-3}$ .

79. Фишори ҳавои зарф дар температураи  $290\text{ К}$  ба  $2 \cdot 10^5\text{ Па}$  баробар мебошад. Дар температураи  $435\text{ К}$  фишори он чӣ қадар мешавад?

А)  $5 \cdot 10^5\text{ Па}$ ; Б)  $4 \cdot 10^5\text{ Па}$ ; В)  $2 \cdot 10^5\text{ Па}$ ; Г)  $3 \cdot 10^5\text{ Па}$ ; Д)  $7 \cdot 10^5\text{ Па}$ .

80. Ягон массаи газро, ки дар температураи  $37^\circ\text{C}$  аст, изобарӣ то кадом температура сард гардонем, ки ҳаҷмаш аз чор як ҳисса хурд шавад?

А)  $305\text{ К}$ ; Б)  $290\text{ К}$ ; В)  $232,5\text{ К}$ ; Г)  $288,5\text{ К}$ ; Д)  $310,5\text{ К}$ .

81. Дар температураи  $5^{\circ}\text{C}$  фишори ҳаво дар балон  $10^4$  Па аст. Дар кадом температура фишори ҳаво дар балон  $2,6 \cdot 10^4$  Па мешавад?

А) 710 К; Б) 790,8 К; В) 432,5 К; Г) 722,8 К; Д) 680,6 К.

82. Газ дар цилиндри поршени ҳаракатманд дошта ҷойгир аст ва дар температураи 300 К ҳаҷми  $250 \text{ см}^3$ -ро ишғол мекунад. Агар дар фишори доимӣ температураи газ то 270 К паст шавад, газ кадом ҳаҷмро ишғол менамояд?

А)  $420 \text{ см}^3$ ; Б)  $150 \text{ см}^3$ ; В)  $225 \text{ см}^3$ ; Г)  $200 \text{ см}^3$ ; Д)  $100 \text{ см}^3$ .

83. Газро дар ҳаҷми доимӣ аз  $127^{\circ}\text{C}$  то  $27^{\circ}\text{C}$  сард карданд. Баъди ин барои он ки фишори ибтидоӣ барқарор шавад, изотермӣ ҳаҷми газро ба чанд фоиз хурд кардан лозим мешавад?

А) 25%; Б) 125%; В) 100%; Г) 75%; Д) 50%.

84. Заврақи резиниро сахарӣ ҳангоми температураи ҳаво  $7^{\circ}\text{C}$  будан дам карда буданд. Ба чанд фоиз фишори ҳаво дар заврақ афзуд, агар рӯзона дар зери нурҳои офтоб он то  $21^{\circ}\text{C}$  гарм шуда бошад? Ҳаҷми заврақ тағйир наёфтааст.

А) 25%; Б) 10%; В) 5%; Г) 20%; Д) 15%.

85. Аввал газро изохорӣ аз 400 К то 600 К ва баъд изобарӣ то температураи Т гарм мекунанд. Баъди ин протсессҳо бо протсесе, ки фишор мутаносибан ба ҳаҷми газ кам мешавад, газро ба ҳолати ибтидоӣ баргардонданд. Температураи Т-ро муайян намоед.

А) 200 К; Б) 400 К; В) 600 К; Г) 900 К; Д) 1000 К.

86. Ду зарфро бо найчаи борики чумақдор пайвастанд. Дар зарфи якуми ҳаҷмаш  $15 \text{ дм}^3$  газ зери фишори 2 атм ҷойгир аст, дар дуюмаш ҳамин гуна газ зери фишори 10 атм воқеъ аст. Агар чумақро кушоем, дар ҳар ду зарф фишори 4 атм барқарор мешавад. Ҳаҷми зарфи дуюмро бо  $\text{дм}^3$  муайян кунед. Температура доимӣ.

А)  $6 \text{ дм}^3$ ; Б)  $5,2 \text{ дм}^3$ ; В)  $3,7 \text{ дм}^3$ ; Г)  $4,8 \text{ дм}^3$ ; Д)  $15 \text{ дм}^3$ .

87. Дар кадом чуқурӣ ҳаҷми хубобчаи ҳавои аз қарри обанбор ба боло бароянда назар ба ҳаҷми он дар сатҳи об 2 маротиба хурд аст? Фишори атмосферӣ 100 кПа, температура дар қабатҳои поёнӣ ва сатҳи об баробар мебошад.

А) 20 м; Б) 15 м; В) 5 м; Г) 10 м; Д) 8 м.

88. Барои 10 маротиба кам шудани фишори газ ҳангоми афзудани ҳаҷми он 7 маротиба то чанд фоиз температураи мутлақи газро паст кардан лозим мешавад?

А) 20 %; Б) 30 %; В) 40 %; Г) 50 %; Д) 10 %.

89. Дар зарфи ҳаҷмаш  $10 \text{ см}^3$ , ки вакууми баланд ҳосил карда шуда буд, сӯрохие пайдо мешавад, ки дар ҳар як сония  $10^6$  молекула аз он ба зарф дохил мегардад. Барои то фишори нормалӣ пур кардани он чӣ қадар



вақт бояд гузарад, агар суръати дохилшавии молекулаҳоро доимӣ ҳисобем? Температура  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .

А)  $8,4 \cdot 10^6\text{ с}$ ; Б)  $6,6 \cdot 10^5\text{ с}$ ; В)  $6,6 \cdot 10^7\text{ с}$ ; Г)  $8,4 \cdot 10^7\text{ с}$ ; Д)  $84 \cdot 10^6\text{ с}$ .

90. Дар балони лампаи симобии ҳаҷмаш  $3 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3$  дар  $300\text{ К}$  фишори буғҳои симоб чӣ қадар аст, агар дар он  $10^{12}$  молекула мавҷуд бошад? Доимии Болсман  $1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж/К}$  буданаширо ба эътибор гиред.

А)  $24\text{ мкПа}$ ; Б)  $67\text{ мкПа}$ ; В)  $112\text{ мкПа}$ ; Г)  $138\text{ мкПа}$ ; Д)  $256\text{ мкПа}$ .

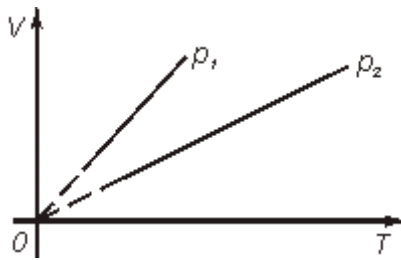
91. Чанд ҳазор молекулаи ҳаво андаруни  $1\text{ мм}^3$  –и зарф дар  $27\text{ }^\circ\text{C}$  мавҷуд аст, агар ҳавои зарф то фишори  $0,83\text{ мкПа}$  кашида шуда бошад? Доимии универсалии газӣ  $8,31\text{ Дж/(мол К)}$ , адади Авогадро  $6 \cdot 10^{23}\text{ мол}^{-1}$ .

А) 250; Б) 200; В) 350; Г) 300; Д) 100.

92. Дар зарфи маҳкам ҳангоми ба  $100\text{ К}$  гарм кардани газ фишори он  $1,5$  маротиба зиёд шуд. Температураи ибтидоии газро муайян кунед.

А)  $273\text{ К}$ ; Б)  $200\text{ К}$ ; В)  $300\text{ К}$ ; Г)  $280\text{ К}$ ; Д)  $313\text{ К}$ .

93. Дар расм ду изобара тасвир ёфтааст:  $p_1 = \text{const}$  и  $p_2 = \text{const}$ . Кадоме аз фишорҳо зиёдтар мебошад?



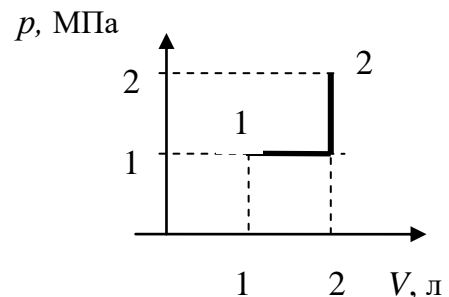
А)  $p_2 > p_1$ ; Б)  $p_2 < p_1$ ; В)  $p_2 = p_1$ ; Г)  $p_2 \ll p_1$ ; Д) наметоднам.

94. Фишор дар кабинаи киштии кайҳонии «Союз» дар температураи  $290\text{ К}$  ба  $9,7 \cdot 10^4\text{ Па}$  баробар аст. Ҳангоми ба  $8\text{ К}$  баланд шудани температураи фишори ҳаво чӣ қадар мешавад?

А)  $9,97 \cdot 10^4\text{ Па}$ ; Б)  $9,77 \cdot 10^4\text{ Па}$ ; В)  $9,87 \cdot 10^4\text{ Па}$ ; Г)  $1,1 \cdot 10^5\text{ Па}$ ; Д)  $1,2 \cdot 10^5\text{ Па}$ .

95. Дар расм ҳолати тағйирёбии гази идеалӣ тасвир шудааст. Дар ҳолати 1 температураи газ  $T_0$ . Дар ҳолати 2 температураи газ:

А)  $2 T_0$ ; Б)  $3 T_0$ ; В)  $4 T_0$ ; Г)  $5 T_0$ ; Д)  $6 T_0$ .



96. Фишори газ, ки бевосита ҳаракати молекулаҳоро ифода мекунад, ба кадом параметрҳо вобастагӣ дорад?

1. Қувваи кашиши молекулаҳо; 2. Энергияи кинетикии молекулаҳо;

3. Қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳо;

4. Қимати миёнаи дарозии дави озоди молекулаҳо;

5. Шумораи бархӯрди молекулаҳо ба девори зарф;

Чавоби пурраро интихоб намоед.

А) 1,4,5; Б) 4,5; В) 1,5; Г) 2,3,5; Д) 2,3.

97. Дар панҷ зарфи якандоза мувофиқан оксиген (1), нитроген (2), неон (3), гелий (4) ва гидроген (5) воқеъ гаштаанд. Температура ва массаи газҳо якандозаанд. Дар кадом зарф фишор камтарин аст?

А)  $O_2(1)$ ; Б)  $N_2(2)$ ; В)  $Ne(3)$ ; Г)  $He(4)$ ; Д)  $H_2(5)$

98. Агар концентратсияи молекулаҳои газ  $4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  ва қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои он  $10,35 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$  бошад, фишори газро ҳисоб кунед.

А) 210 кПа; Б) 276 кПа; В) 360 кПа; Г) 420 кПа; Д) 500 кПа.

99. Шумораи молекулаҳои гази дохили зарфи ҳаҷмаш  $5 \text{ м}^3$  ва фишораш 200 кПа ба  $6 \cdot 10^{25}$  баробар аст. Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои газ ҳисоб карда шавад.

А)  $0,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ ; Б)  $1,0 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ ; В)  $1,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ ; Г)  $2,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ ; Д)  $3,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ .

100. Агар зичии гази нитроген  $1,35 \text{ кг/м}^3$  ва қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳоаш  $500 \text{ м/с}$  бошад, фишори онро ҳисоб кунед.

А) 100,5 кПа; Б) 105,5 кПа; В) 109,5 кПа;  
Г) 112,5 кПа; Д) 121,5 кПа.

101. Дар ҳолати чор маротиба зиёд шудани концентратсияи молекулаҳои гази идеалӣ ва бетағйир мондани қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳоаш фишори он чигуна тағйир меёбад?

А) 4 маротиба зиёд; Б) 2 маротиба зиёд; В) 4 маротиба кам;  
Г) 2 маротиба кам мешавад; Д) Бетағйир мемонад.

102. Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои газро дар фишори 20 кПа ёбед. Концентратсияи молекулаҳои газ  $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  аст.

А)  $0,5 \cdot 10^{-20} \text{ Ҷ}$ ; Б)  $1 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ ; В)  $1,5 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ ; Г)  $2,3 \cdot 10^{-23} \text{ Ҷ}$ ; Д)  $3,5 \cdot 10^{-24} \text{ Ҷ}$ .

103. Дар температураи  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ва фишори 133 мкПа концентратсияи молекулаҳои гази идеалиро муқаррар намоед.

А)  $15 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ; Б)  $13 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ; В)  $3,3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ; Г)  $7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ; Д)  $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .

104. Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаи гази якатомаро дар температураи 300 К ёбед.

А)  $2 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ ; Б)  $4 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ ; В)  $6 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ ; Г)  $7 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ ; Д)  $8 \cdot 10^{-21} \text{ Ҷ}$ .

105. Концентратсияи молекулаҳои газ дар температураи 290 К ва фишори 0,8 МПа чӣ қадар мебошад?

А)  $15 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ ; Б)  $13 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ ; В)  $6 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ ; Г)  $7 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ ; Д)  $2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ .

106. Қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳои газ дар фишори муътадили атмосферӣ чанд аст? Концентратсияи молекулаҳои газ  $3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$  мебошад.

А)  $2 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ ; Б)  $3 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ ; В)  $4 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ ; Г)  $6 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ ; Д)  $5 \cdot 10^{-22} \text{ Ҷ}$ .

107. Фишори гази идеалӣ чӣ гуна тағйир меёбад, агар дар концентратсияи доимӣ суръати квадратии миёна 3 маротиба зиёд шуда бошад?

А) 3 маротиба меафзояд; Б) 9 маротиба меафзояд; В) 3 маротиба кам мешавад; Г) Тағйир намеёбад; Д) 9 маротиба кам мешавад.

108. Дар зарфи маҳкам газро гарм мекунанд. Оё концентратсияи молекулаҳои газ тағйир меёбад?

А) Ҳа, тағйир меёбад; Б) Не, тағйир намеёбад;



В) Ҳа, агар газ гази реалӣ бошад; Г) Ҳа, агар газ гази идеалӣ бошад;  
 Д) Дар байни ҷавобҳои А-Г ҷавоби дуруст ҷой надорад.

109. Зичии як микдор газ дар температураи 283 К ва фишори 0,2 МПа ба 0,34 кг/м<sup>3</sup> баробар аст. Массай молии газро ёбед?

А) 0,002 кг/мол; Б) 0,004 кг/мол; В) 0,014 кг/мол; Г) 0,032 кг/мол;  
 Д) 0,064 кг/мол.

110. Ба зарфи ҳаҷмаш 12 м<sup>3</sup>, ки дар он тахти фишори 400 кПа газ воқеъ гаштааст, зарфи холии ҳаҷмаш 3 м<sup>3</sup>-ро пайваस्त намудаанд. Қимати интиҳои фишори гази дохили зарфро ёбед. Протсесс изотермӣ аст.

А) 120 кПа; Б) 220 кПа; В) 320 кПа; Г) 420 кПа; Д) 520 кПа.

111. Газе, ки температурааш 12 °С ва фишорааш 2 · 10<sup>5</sup> Па мебошад, кадом ҳаҷмро ишғол мекунад? Адади молекулаҳои газ 5,4 · 10<sup>26</sup> аст.

А) 1,2 м<sup>3</sup>; Б) 4,1 м<sup>3</sup>; В) 6,8 м<sup>3</sup>; Г) 8,1 м<sup>3</sup>; Д) 10,8 м<sup>3</sup>.

112. Кадоме аз формулаҳои овардашуда муодилаи Клапейрон-Менделеевро ифода мекунад?

А)  $p = \frac{2}{3} n < \frac{m \bar{v}^2}{2} >$ ; Б)  $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ ; В)  $pV = NkT$ ;  
 Г)  $pV_m = RT$ ; Д)  $pV = \frac{m}{M} RT$ .

113. Дар зарфи ҳаҷмаш 2 м<sup>3</sup> омехтаи 4 кг гелий ва 2 кг гидроген дар температураи 27 °С ҷойгиранд. Массай молии омехтаи ин газҳоро ёбед.

А) 3 · 10<sup>-3</sup> кг/мол; Б) 2 · 10<sup>-3</sup> кг/мол; В) 6 · 10<sup>-3</sup> кг/мол;  
 Г) 7 · 10<sup>-3</sup> кг/мол; Д) 2,5 · 10<sup>-3</sup> кг/мол.

114. Адади молекулаҳои гази дохили зарфи ҳаҷмаш 5 м<sup>3</sup> ва фишорааш 100 кПа ба 3 · 10<sup>25</sup> баробар аст. Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаи газ ҳисоб карда шавад.

А) 0,5 · 10<sup>-20</sup> Ҷ; Б) 1,2 · 10<sup>-20</sup> Ҷ; В) 1,5 · 10<sup>-20</sup> Ҷ; Г) 2,5 · 10<sup>-20</sup> Ҷ; Д) 3,5 · 10<sup>-20</sup> Ҷ.

115. Дар балон 2 г нитроген дар температураи 7 °С ҷойгир аст. Қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии ҳама молекулаҳои онро муқаррар намоед.

А) 50 Ҷ; Б) 100 Ҷ; В) 170 Ҷ; Г) 250 Ҷ; Д) 354 Ҷ.

116. Кадоме аз формулаҳои зерин қонуни Далтонро ифода мекунад?

А)  $p = \frac{2}{3} n < \frac{m \bar{v}^2}{2} >$ ; Б)  $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ ; В)  $pV = NkT$ ;  
 Г)  $pV = \nu RT$ ; Д)  $pV = \frac{m}{M} RT$ .

117. Дар зарфи ҳаҷмаш 2 м<sup>3</sup> омехтаи 4 кг гелий ва 2 кг гидроген дар температураи 27 °С ҷойгиранд. Фишори омехтаи ин газҳоро муайян кунед.

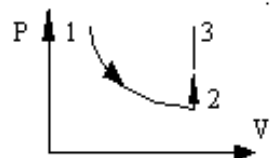
А) 2,5 МПа; Б) 2,3 МПа; В) 2,2 МПа; Г) 2,0 МПа; Д) 2,1 МПа.

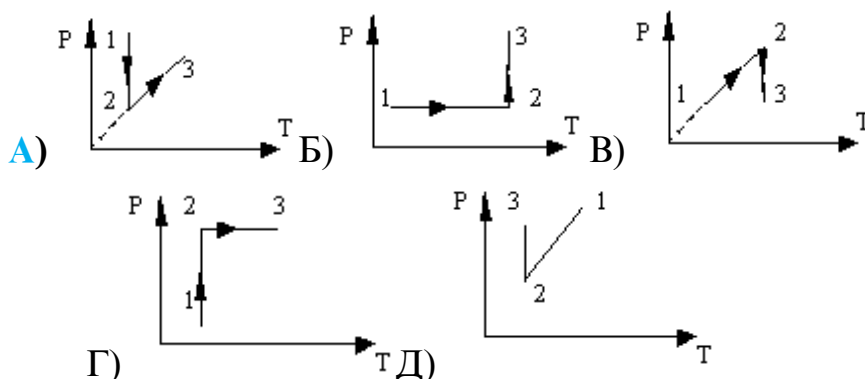
118. Температура чиро тавсиф медиҳад?

1. Дараҷаи гармии ҷисм; 2. Меъёри қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо; 3. Меъёри адади бархӯрди молекулаҳо; 4. Меъёри энергияи дохилии модда; 5. Тавсифи ҳолати агрегатии модда.  
 Ҷавоби пурраро интихоб намоед.

А) 1,2,4,5; Б) 3,5; В) 3; Г) 5; Д) 1,3,5.

119. Дар расм графики тағйирёбии ҳолати система барои массай муайяни газ тасвир ёфтааст. Ин вобастагиро дар координатаҳои РТифода кунед.





120. Дар зарфи ҳаҷмаш 1 л оксигени массааш 1 г ҷойгир аст. Концентрацияи молекулаҳои оксиген дар зарф :

А)  $1,9 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ; Б)  $1,9 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ; В)  $3,4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ; Г)  $5,3 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ ; Д)  $2,5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ .

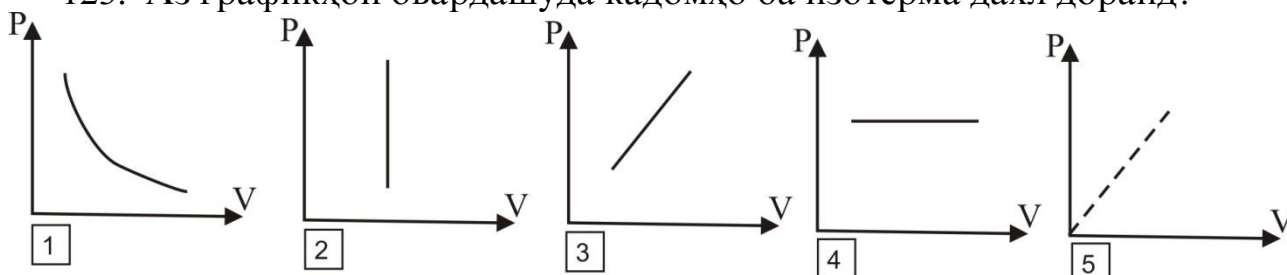
121. Дар зарф гази идеалии зичиаш  $0,4 \text{ кг/м}^3$  мавҷуд аст. Агар вай ба деворҳои зарф  $0,81 \cdot 10^5 \text{ Па}$  фишор орад, қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳо чӣ қадар мебошад?

А)  $950 \text{ м/с}$ ; Б)  $780 \text{ м/с}$ ; В)  $620 \text{ м/с}$ ; Г)  $450 \text{ м/с}$ ; Д)  $273 \text{ м/с}$ .

122. Зичии нитрогенро дар температураи  $300 \text{ К}$  ва фишори  $100 \text{ кПа}$  муайян кунед.

А)  $1,021 \text{ кг/м}^3$ ; Б)  $1,003 \text{ кг/м}^3$ ; В)  $1,023 \text{ кг/м}^3$ ; Г)  $1,123 \text{ кг/м}^3$ ; Д)  $1,061 \text{ кг/м}^3$ .

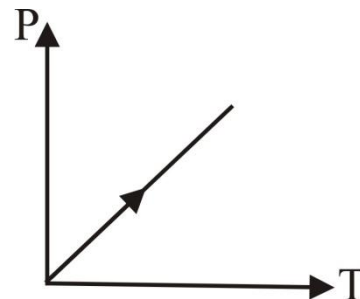
123. Аз графикҳои овардашуда кадомҳо ба изотерма дахл доранд?



А) 3,5; Б) 2,3,5; В) 3; Г) 5; Д) 1,2,4.

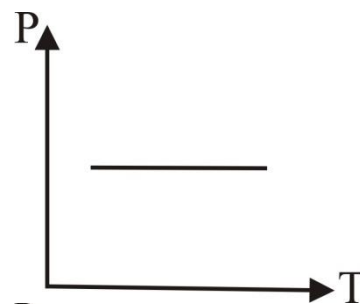
124. Дар расм графики вобастагии фишор ( $P$ ) ба температура ( $T$ ) ҳангоми гарм кардани газ тасвир ёфтааст. Ҳангоми гармкунии минбаъда дар газ чӣ ҳодиса рӯй медиҳад?

А) Фишурда мешавад; Б) Васеъ мегардад;  
В) Ҳаҷм бетағйир мемонад; Г) Фишор бетағйир мемонад; Д) Фишор паст мешавад.



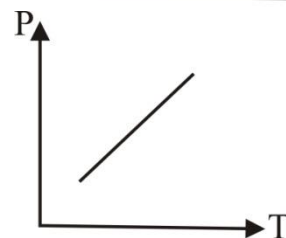
125. Дар расм тағйироти ҳолати массаи муайяни газ тасвир ёфтааст. Ин кадом протсес аст?

- А) Изотермӣ; Б) Изохорӣ; В) Изобарӣ;  
Г) Адиабатӣ; Е) Аз ин график протсеси ҳолати газро муайян кардан мумкин нест.



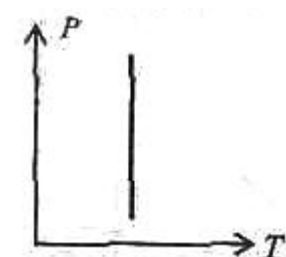
126. Дар расм тағйироти ҳолати массаи муайяни газ тасвир ёфтааст. Ин тағйирёбӣ ба кадом протсес хос аст?

- А) Изотермӣ; Б) Изохорӣ; В) Изобарӣ;  
Г) Адиабатӣ; Д) Аз ин график протсеси ҳолати газро муайян кардан мумкин нест.

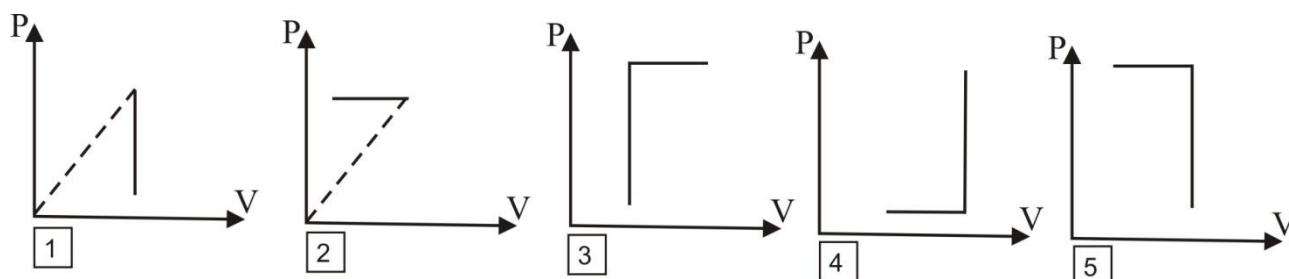


127. Дар расм тағйироти ҳолати массаи муайяни газ тасвир ёфтааст. Ин тағйирёбӣ ба кадом протсес хос аст?

- А) Изотермӣ; Б) Изохорӣ; В) Изобарӣ;  
Г) Адиабатӣ; Д) Аз ин график протсеси ҳолати газро муайян кардан мумкин нест.



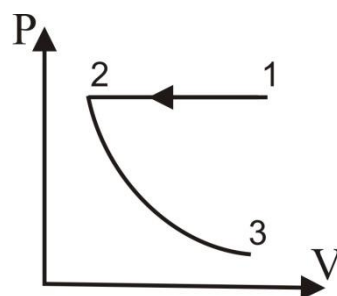
128. Газро аввал ҳангоми доимӣ мондани фишор гарм карда, сипас ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм сард гардонем, графикаи тағйироти ҳолати он чӣ гуна мешавад? Ба расмҳои 1-5 нигаред.



- А) 1; Б) 2; В) 3; Г) 4; Д) 5.

129. Дар график протсесҳои тағйирёбии ҳолати массаи муайяни гази идеалӣ дар координатаҳои  $PV$  тасвир ёфтааст. Графикаи ин протсесҳоро номбар кунед.

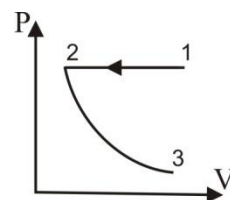
- А) 1-2 изобара, 2-3 изотерма;  
Б) 1-2 изотерма, 2-3 изобара; В) 1-2 изохора,



2-3 изотерма; Г) 1-2 изобара, 2-3 изохора; Д) 1-2 изохора, 2-3 изобара.

130. Дар график протсесҳои тағйирёбии ҳолати массаи муайяни гази идеалӣ дар координатаҳои  $PV$  тасвир ёфтааст. Муодилаи ин протсесҳоро ёбед.

А)  $1-2 \quad V_1/T_1 = V_2/T_2$     Б)  $1-2 \quad P_1V_1 = P_2V_2$   
 $2-3 \quad P_2V_2 = P_3V_3$      $2-3 \quad V_2/T_2 = V_3/T_3$



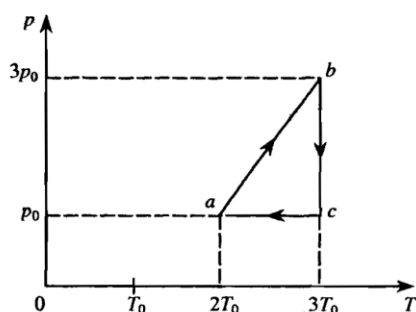
В)  $1-2 \quad P_1/T_1 = P_2/T_2$     Г)  $1-2 \quad P_2V_2 = P_3V_3$     Д)  $1-2 \quad P_1V_1 = P_2V_2$   
 $2-3 \quad V_2/T_2 = V_3/T_3$      $2-3 \quad P_2/T_2 = P_3/T_3$      $2-3 \quad P_2/T_2 = P_3/V_3$

131. Дар график протсеси тағйирёбии ҳолати массаи муайяни гази идеалӣ дар координатаҳои  $P, V$  тасвир ёфтааст. Муодилаи ин протсесхоро муайян намоед.



А)  $1-2 \quad P_1V_1 = P_2V_2$     Б)  $1-2 \quad P_1/T_1 = P_2/T_2$     В)  $1-2 \quad P_1/T_1 = P_2/T_2$   
 $2-3 \quad P_2/T_2 = P_3/T_3$      $2-3 \quad V_2/T_2 = V_3/T_3$      $2-3 \quad P_2V_2 = P_3V_3$   
Г)  $1-2 \quad P_1V_1 = P_2V_2$     Д)  $1-2 \quad P_1/V_1 = P_2/V_2$   
 $2-3 \quad V_2/T_2 = V_3/T_3$      $2-3 \quad V_2T_2 = V_3T_3$

132. Дар расм графики протсеси сиклии а-б-с-а, ки бо гази идеалӣ мегузарад дар координатаҳои  $TP$  тасвир шудааст. Нисбати ҳаҷми максималӣ ба минималӣ чанд аст?



А) 6;    Б) 3;    В) 8;    Г) 2;    Д) 4.

133. Дар зарф 10 кг гази фишораи  $10^7$  Па ҷойгир аст. Чӣ қадар газро аз зарф сар доданд, ки фишори он  $2,5 \cdot 10^6$  Па ва температураи газ 3 маротиба кам шуд?

А) 7,5 кг;    Б) 3,3 кг;    В) 2,5 кг;    Г) 9,2 кг;    Д) 3,0 кг.

134. Дар протсеси тағйирёбии ҳолати газ фишор ва температураи он  $P = \alpha T$  ( $\alpha = \text{const}$ ) хаттӣ вобаста буданд. Дар мавриди 2 маротиба кам шудани температура ҳаҷми он:

А) тағйир наёфт;    Б) 2 маротиба афзуд;    В) 2 маротимба кам шуд;  
Г) 4 маротимба кам шуд;    Д) 4 маротиба афзуд.

135. Дар протсеси тағйирёбии ҳолати газ фишор ва ҳаҷми он чунин вобастаанд:  $P = \alpha V^2$  ( $\alpha = \text{const}$ ). Дар мавриди 3 маротиба афзудани ҳаҷми он температура:

А) 3 маротиба афзуд;    Б) 9 маротиба афзуд;    В) 3 маротимба кам шуд;  
Г) 27 маротимба кам шуд;    Д) 27 маротиба афзуд.

136. Зарф  $m_1 = 80$  г оксиген ва  $m_2 = 320$  г аргон дорад. Дар температураи  $t = 27^\circ\text{C}$  фишори омехта  $P = 1$  МПа аст. Ҳаҷми зарфро ёбед.

А)  $10,5 \cdot 10^3$  л;    Б) 26,2 л;    В) 11,5 л;    Г) 10,5 л;    Д) 2,4 л.

137. Дар балон таҳти фишори 90 атм ва температураи 300 К оксиген воқеъ гаштааст. Дар кадом температураи фишори оксиген ба 100 атм баробар мешавад?

А) 60 °С; Б) 47 °С; В) 7 °С; Г) 17 °С; Д) 27 °С.

138. Дар балони ғунҷоишаш 20 л омехтаи гидроген ва нитроген дар температураи 290 К ва фишори 1 МПа ҷойгиранд. Массай гидрогенро муайян намоед, агар массай омехта 150 г бошад.

А) 5,2 г; Б) 6,3 г; В) 2,5 г; Г) 3,4 г; Д) 4,3 г.

139. Ҳангоми фишурдани миқдори бетағйири газ ҳаҷми он ду маротиба хурд шуду фишораш ду маротиба баланд. Дар ин фишориш температураи газ чӣ гуна тағйир ёфтааст?

А) 2 маротиба зиёд шудааст; Б) 2 маротиба кам шудааст; В) 4 маротиба зиёд шудааст; Г) тағйир наёфтааст; Д) намедонам.

140. Дар протсесе фишор ва ҳаҷми газ ду маротиба афзуд. Нисбати энергияи дохилии газ дар ҳолатҳои интиҳой ва ибтидоӣ чӣ қадар мешавад?

А) 8; Б) 1; В) 6; Г) 3; Д) 4.

141. Дар зарфи маҳками ғунҷоишаш 2 м<sup>3</sup> омехтаи 280 г нитроген ва 320 г оксиген ҷойгир аст. Дар температураи 16°С фишори омехтаи газҳо:

А) 240 кПа; Б) 2,4 кПа; В) 24 кПа; Г) 240 Па; Д) 24 Па.

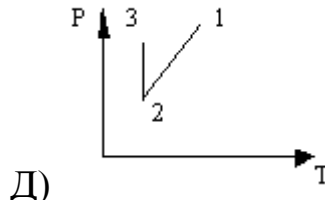
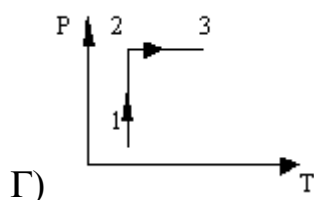
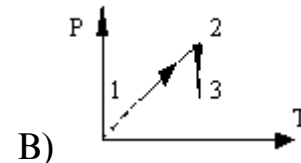
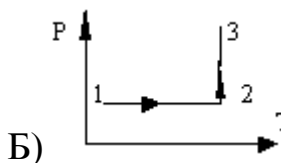
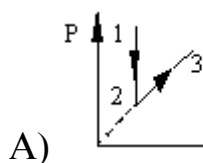
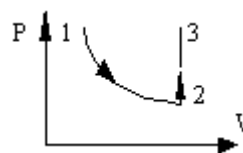
142. Дар зарфи ҳаҷмаш 2 л дар температураи 400К омехтаи 6 г газҳои туршии карбон (CO<sub>2</sub>) ва 4 г зақиси нитроген (N<sub>2</sub>O) ҷойгиранд. Фишори омехтаи газ дар зарф:

А) 415,0 кПа; Б) 235,5 кПа; В) 101,0 кПа; Г) 750,5 кПа; Д) 378 кПа.

143. Фишори омехтаи нитрогену карбон 20 кПа, фишори парсиалии нитроген 12 кПа. Фишори парсиалии карбон чӣ қадар аст?

А) 8 кПа; Б) 16 кПа; В) 32 кПа; Г) 0,24 МПа; Д) 0,32 МПа.

144. Дар график протсеси тағйирёбии ҳолати массай муайяни газии идеалӣ дар координатаҳои P, V тасвир ёфтааст. Тасвири ин протсесҳоро дар координатаҳои P, T ёбед.



145. Ҳолати газии идеалӣ бо температура ва фишори он дода шудааст. Энергияи дохилии газ дар ҳолати зерин зиёдтарин аст:

А)  $T_0, 5P_0$ ; Б)  $T_0, 2P_0$ ; В)  $2T_0, P_0$ ; Г)  $T_0, P_0$ ; Д)  $T_0, 10P_0$ .

146. Дар ду зарф  $\nu_1 = 2$  мол ва  $\nu_2 = 3$  мол газии идеалӣ ҷойгиранд. Ҳаҷм ва температураи газҳо мувофиқан баробар ба  $V_1 = 10$  л,  $T_1 = T_0$  ва  $V_2 = 12,4$  л,  $T_2 = 1,5T_0$ ,  $T_0 = 273$  К мебошанд. Баъд зарфҳо пайвастанд карда ме-

шаванд ва омехтаи газҳо ба ҳолати мувозинатӣ меоянд. Температури омехтаи газҳо чӣ қадар аст?

А)  $1,3T_0$ ; Б)  $1,4T_0$ ; В)  $T_0$ ; Г)  $0,8 T_0$ ; Д)  $1,2T_0$ .

147. Дар ду зарф  $\nu_1 = 2 \text{ мол}$  ва  $\nu_2 = 3 \text{ мол}$  гази идеалӣ ҷойгиранд. Ҳаҷм ва температураи газҳо мувофиқан баробар ба  $V_1=10 \text{ л}$ ,  $T_1=T_0$  ва  $V_2=12,4 \text{ л}$ ,  $T_2=1,5T_0$ ,  $T_0=273 \text{ К}$  мебошанд. Баъд зарфҳо пайваст карда мешаванд ва омехтаи газҳо ба ҳолати мувозинатӣ меоянд. Фишори омехтаи газҳо:

А)  $3,2 \text{ МПа}$ ; Б)  $1,2 \text{ МПа}$ ; В)  $0,4 \text{ МПа}$ ; Г)  $0,5 \text{ МПа}$ ; Д)  $0,65 \text{ МПа}$ .

148. Ду гази идеалии массашон баробар дар зарфҳои гуногун мувофиқан бо температураи  $T_1=300 \text{ К}$ , фишори  $P_1=P_0$  ва температураи  $T_2=400 \text{ К}$ , фишори  $P_2=2P_0$  ҷойгиранд. Баъд зарфҳо пайваст карда мешаванд. Баъди пайвастан температураи омехтаи газҳо  $T$ :

А)  $380 \text{ К}$ ; Б)  $350 \text{ К}$ ; В)  $340 \text{ К}$ ; Г)  $360 \text{ К}$ ; Д)  $320 \text{ К}$ .

149. Ду гази идеалии массашон баробар дар зарфҳои гуногун мувофиқан бо температураи  $T_1=300 \text{ К}$ , фишори  $P_1=P_0$  ва температураи  $T_2=400 \text{ К}$ , фишори  $P_2=2P_0$  ҷойгиранд. Баъд зарфҳо пайваст карда мешаванд. Баъди пайвастан фишори омехтаи газҳо  $P$ :

А)  $1,5 P_0$ ; Б)  $2 P_0$ ; В)  $1,4 P_0$ ; Г)  $1,6 P_0$ ; Д)  $0,8 P_0$ .

150. Ду зарфи ҳаҷмашон баробар бо газҳои нитроген ( $1 \text{ кг}$ ) ва гидроген ( $1 \text{ кг}$ ) пур карда шудаанд. Температури газҳо баробар. Фишори гидроген  $10^5 \text{ Па}$  аст. Фишори нитрогенро ёбед.

А)  $7 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ; Б)  $10^5 \text{ Па}$ ; В)  $28 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ; Г)  $14 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; Д)  $3,6 \cdot 10^3 \text{ Па}$ .

151. Ҳангоми изохорӣ гарм кардани  $3 \text{ мол}$  гази идеалии дуатома аз  $19$  то  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  энергияи дохилии он чӣ қадар меафзояд?

А)  $124,5 \text{ Ҷ}$ ; Б)  $100 \text{ Ҷ}$ ; В)  $187 \text{ Ҷ}$ ; Г)  $360 \text{ Ҷ}$ ; Д)  $200 \text{ Ҷ}$ .

152. Ба гази идеалӣ  $5 \text{ Ҷ}$  микдори гармӣ дода шуд ва қувваҳои беруна бар он  $8 \text{ Ҷ}$  кор иҷро карданд. Энергияи дохилии газ чӣ гуна тағйир ёфт?

А)  $3 \text{ Ҷ}$  кам шудааст; Б)  $3 \text{ Ҷ}$  афзудааст; В)  $13 \text{ Ҷ}$  афзудааст;

Г)  $13 \text{ Ҷ}$  кам шудааст; Д) тағйир наёфтааст.

153. Энергияи дохилии  $5 \text{ кг}$  аммиак  $\text{NH}_3$ -ро дар температураи  $340 \text{ К}$  ёбед.

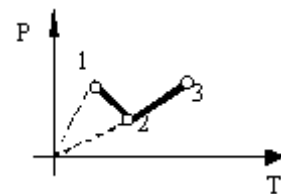
А)  $24,93 \cdot 10^5 \text{ Ҷ}$ ; Б)  $2,5 \cdot 10^7 \text{ Ҷ}$ ; В)  $28,51 \cdot 10^5 \text{ Ҷ}$ ; Г)  $4 \cdot 10^5 \text{ Ҷ}$ ; Д)  $5 \cdot 10^5 \text{ Ҷ}$ .

154. Графики вобастагии фишори массаи муайяни гази идеалӣ ба температура дода шудааст.

Ҳаҷми газ дар нуқтаҳои 1,2,3 байни ҳам чунин вобастаанд:

А)  $V_1 < V_2 = V_3$ ; Б)  $V_1 > V_2 > V_3$ ; В)  $V_1 < V_2 < V_3$ ;

Г)  $V_1 > V_2 = V_3$ ; Д)  $V_1 = V_2 < V_3$ .

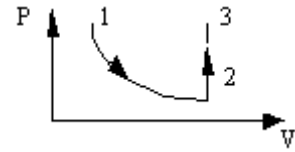


155. Шкалаҳои термодинамикии мутлақи температура ва Селсий чӣ гуна вобастаанд?

А)  $T = T_0 \frac{V_1}{V_2}$ ; Б)  $T = 273 + t$ ; В)  $T = \frac{PV}{\nu R}$ ; Г)  $T = T_0 \frac{P_2}{P_1}$ ; Д)  $kT = \frac{m\bar{g}^2}{2}$ .



156. Дар график протсеси тағйирёбии ҳолати массаи муайяни гази идеалӣ дар координатаҳои  $P, V$  тасвир ёфтааст. Ин протсесҳоро муайян кунед.



- А) 1-2 васеъшавии изотермӣ, 2-3 изохорӣ гармкунӣ;
- Б) 1-2 изотермӣ фишурдашавӣ, 2-3 изохорӣ гармкунӣ;
- В) 1-2 васеъшавии изотермӣ, 2-3 изохорӣ хунуккунӣ;
- Г) 1-2 изохорӣ хунукшавӣ, 2-3 изотермӣ фишурдашавӣ;
- Д) 1-2 изотермӣ фишурдашавӣ, 2-3 изотермӣ хунукшавӣ.

157. Ҳангоми афзудани ҳаҷми газ дар протсеси изотермӣ:

1. Энергияи дохилии газ афзуд.
2. Ба газ миқдори гармӣ дода шуд.
3. Кори иҷрокардаи қувваҳои беруна мусбат.
4. Фишор зиёд шуд. 5. Энергияи дохилии газ кам шуд.

Кадоме аз ин ҳулосаҳо дуруст аст?

- А) 1; Б) 2; В) 3; Г) 4; Д) 5.

158. Бигузори  $Q$  – миқдори гармии ба газ додасуда,  $A$ -кори газ бар муқобили қувваҳои беруна,  $\Delta U$ - тағйироти энергияи дохилии газ бошад.

Дар протсеси васеъшавии изотермӣ:

- А)  $Q < 0, A > 0$ ; Б)  $Q = 0, A > 0$ ; В)  $Q = 0, A < 0$ ; Г)  $Q > 0, A > 0$ ;
- Д)  $\Delta U > 0, A > 0$ .

159. Бигузори  $Q$  – миқдори гармии ба газ додасуда,  $A$ -кори газ бар муқобили қувваҳои беруна,  $\Delta U$ - тағйироти энергияи дохилии газ бошад.

Дар протсеси васеъшавии адиабатӣ:

- А)  $Q < 0, A > 0$ ; Б)  $\Delta U = 0, A > 0$ ; В)  $\Delta U < 0, A < 0$ ;
- Г)  $\Delta U > 0, A > 0$ ; Д)  $\Delta U < 0, A > 0$ .

160. Агар қимати миёнаи квадрати суръати ҳаракати пешравии молекулаи нитроген, ки зери фишори  $10^5$  Па ба  $2 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> баробар бошад, консентратсияи молекулаҳои нитроген (массаи моли нитроген 0,028 кг/мол) дар ин шароит чӣ қадар будааст?

- А)  $3,2 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup>; Б)  $8 \cdot 10^{23}$  м<sup>-3</sup>; В)  $1,6 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup>; Г)  $6,4 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup>; Д)  $2,4 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup>.

161. Температураи газ аз  $1000$  °С то  $500$  °С паст шуд. Оё, дар ин маврид энергияи миёнаи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо 2 маротиба кам мешавад ё не?

- А) Ҳа, 2 маротиба кам мешавад; Б) Не, 2 маротиба кам намешавад;
- В) 1,5 маротиба кам мешавад; Г) 4 маротиба кам мешавад;
- Д) Энергияи миёнаи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳо ба температура вобаста нест, бинобар он тағйир намеёбад.

162. Ба сифати сифри мутлақ чӣ гуна температура қабул карда шудааст?

- А) Температураи гудохташавии ях; Б) Температураи  $-273,16$  °С;

- В) Температураи 273,16 К; Г) Температураи нуқтаи сегонаи об;  
 Д) Температураи обшавии ях.

163. Молекулаи газҳои гуногун энергияи миёнаи кинетикии якандоза доранд. Оё температураи газҳо баробаранд?

- А) Ҳа, баробаранд; Б) Не, гуногунанд; В) Ҳа, агар шумораи молекулаҳои газҳо баробар бошанд; Г) Ҳа, зеро суръати молекулаҳои газҳо якандозаанд; Д) Дар байни ҷавобҳои А-Г ҷавоби дуруст нест.

164. Дар кадом температура қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои якатома  $10,5 \cdot 10^{-21}$  Ҷ аст?

- А) 250 К; Б) 507 К; В) 750 К; Г) 800 К; Д) 1000 К.

165. Кадоме аз формулаҳои овардашуда қонуни тақсимои нормалии Гауссро ифода мекунад?

А)  $F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx$ ;    Б)  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2/2} dz$ ;

В)  $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$ ;    Г)  $\int_{-\infty}^z f(x) dx = \Gamma$ ;    Д)  $\int_{x_1}^{x_2} dF(x) = F(x_2) - F(x_1)$

166. Кадоме аз формулаҳои дар поён овардашуда ба қонуни тақсимои стандартии Гаусс мансуб аст?

А)  $F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx$ ;    Б)  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2/2} dz$ ;

В)  $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$ ;    Г)  $\int_{-\infty}^z f(x) dx = \Gamma$ ;    Д)  $\int_{x_1}^{x_2} dF(x) = F(x_2) - F(x_1)$

167. Аз формулаҳои овардашуда кадоме зичии эҳтимолияти тақсимои барои бузургии суръат ифода мекунад?

А)  $f(g) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-m g^2 / 2kT} g^2$ ;    Б)  $\varphi(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-u^2/2} u^2 du$ ;

В)  $\int_0^{\infty} f(g) dg = \Gamma$ ;    Г)  $\langle \frac{1}{2} m g^2 \rangle = \frac{3}{2} kT$ ;    Д)  $dP(g) = f(g) dg$ .

168. Аз формулаҳои зерин кадоме тақсимои Максвелл барои суръатҳои нисбиро ифода мекунад?

А)  $f(x) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-m g^2 / 2kT} g^2$ ;    Б)  $\varphi(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-u^2/2} u^2 du$ ;

В);  $\int_0^{\infty} f(g) dg = \Gamma$ ;    Г)  $\langle \frac{1}{2} m g^2 \rangle = \frac{3}{2} kT$ ;    Д)  $dP(g) = f(g) dg$ .

169. Бо кадоме аз формулаҳои зер суръати миёнаи арифметикиро ҳисоб кардан мумкин аст?

А)  $\langle g \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ;    Б)  $\sqrt{\langle g^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ;    В)  $g_s = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ ;    Г)  $u = \frac{g}{g_s}$ ;    Д)  $\langle g_n \rangle = \sqrt{2} \langle g \rangle$ .

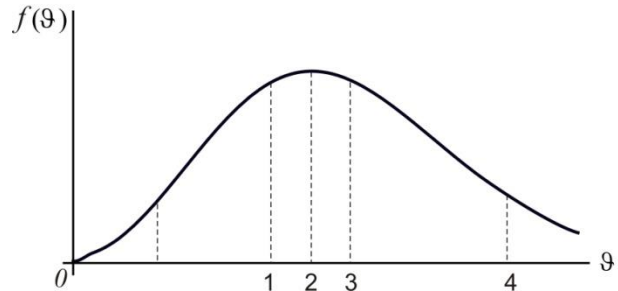
170. Бо кадоме аз формулаҳои зер қимати миёнаи суръати квадратиро ҳисоб мекунад?



А)  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ; Б)  $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ; В)  $v_0 = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ ; Г)  $u = \frac{v}{v_0}$ ; Д)  $\langle v_n \rangle = \sqrt{2} \langle v \rangle$ .

171. Дар графики функцияи тақсимооти суръатҳо кадоме ба суръати эҳтимолигарин рост меояд?

- А) 2; Б) 1; В) 3; Г) 4;  
Д) 5.



172. Дар фишори 40 кПа зичии газ 0,35 кг/м<sup>3</sup> мебошад. Суръати эҳтимолигарини молекулаҳои газро дар ин маврид муайян намоед.

- А)  $v_0 = 500$  м/с; Б)  $v_0 = 550$  м/с; В)  $v_0 = 400$  м/с;  
Г)  $v_0 = 420$  м/с; Д)  $v_0 = 478 \frac{м}{с}$ .

173. Дар кадом температура суръати миёнаи квадратии молекулаҳои оксиген аз суръати эҳтимолигаринашон 100 м/с зиёд аст?

- А) 350 К; Б) 300 К; В) 381 К; Г) 400; Д) 500 К.

174. Дар чӣ қадар температура қимати миёнаи суръати квадратии молекулаи гидроген 2000 м/с мешавад?

- А) 600 К; Б) 730 К; В) 770 К; Г) 320 К; Д) 900 К.

175. Температураи фотосфераи Офтоб 6000 К мебошад. Қимати миёнаи суръати квадратии атоми гелий дар он чанд аст?

- А) 4,8 км/с; Б) 6,2 км/с; В) 8,7 км/с; Г) 12,25 км/с; Д) 16,1 км/с.

176. Қимати миёнаи квадрати суръати молекулаҳои газу нитрогенро дар температураи 300 К ёбед.

- А) 490 м/с; Б) 500 м/с; В) 510 м/с; Г) 517 м/с; Д) 540 м/с.

177. Температураи фотосфераи Офтоб 6000 К мебошад. Қимати миёнаи суръати квадратии атоми гидроген дар он чанд аст?

- А) 4,8 км/с; Б) 6,2 км/с; В) 8,7 км/с; Г) 12,25 км/с; Д) 16,1 км/с.

178. Қимати миёнаи суръати квадратии молекулаи газро дар температураи 100 °С ёбед. Массай молекулаи газ  $3,4 \cdot 10^{-27}$  кг аст.

- А) 500 м/с; Б) 1500 м/с; В) 1860 м/с; Г) 2131 м/с; Д) 273 м/с.

179. Оё дар температураи 100 °С қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳои гидроген ва оксиген баробар буда метавонанд?

А) Метавонанд; Б) Наметавонанд; В) Метавонанд, агар фишори газҳо якандоза бошад; Г) Метавонанд, агар зичӣ ва фишори газҳо баробар бошанд; Д) Метавонанд, агар шумораи молекулаҳои газҳо баробар бошанд.

180. Бо кадоме аз формулаҳои зер суръати эҳтимолигаринро ҳисоб кардан мумкин аст?

А)  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ; Б)  $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ; В)  $v_0 = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ ;  
Г)  $u = \frac{v}{v_0}$ ; Д)  $\langle v_n \rangle = \sqrt{2} \langle v \rangle$ .

181. Суръатҳои эҳтимоли, миёнаи арифметикӣ ва миёнаи квадратӣ дар кадом таносубанд?

- А)  $1,22 : 1,13 : 1$ ; Б)  $1,22 : 1 : 1,13$ ; В)  $1 : 1,13 : 1,22$ ;  
Г)  $1 : 1,22 : 1,13$ ; Д)  $1,13 : 1,22 : 1$ .

182. Энергияи кинетикии миёнаи ҳаракати чархзании як молекулаи оксигенро дар температураи 350 К муайян кунед.

- А)  $4,83 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; Б)  $2,107 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; В)  $2,9 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; Г)  $3,5 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; Д)  $5,1 \cdot 10^{-21}$  Ҷ;

183. Дар кадом температура қимати миёнаи суръати квадрати молекулаҳои гидроген 2250 м/с мешавад?

- А) 150 °С; Б) 180 °С; В) 200 °С; Г) 132 °С; Д) 300 °С.

184. Қимати миёнаи квадрати суръати молекулаҳои газии оксигенро дар температураи 320 К ҳисоб кунед.

- А) 483 м/с; Б) 500 м/с; В) 510 м/с; Г) 517 м/с; Д) 540 м/с.

185. Агар консентратсияи молекулаҳои газии идеалии якатома  $4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  ва қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои он  $2,5 \cdot 10^{-21}$  Ҷ бошад, фишори газро муайян намоед.

- А) 210 кПа; Б) 280 кПа; В) 66,7 кПа; Г) 420 кПа; Д) 100 кПа.

186. Энергияи кинетикии пурраи ҳаракати пешравии 2 мол газии идеалии дар температураи 27 °С чӣ қадар аст?

- А) 13226 Ҷ; Б) 5800 Ҷ; В) 2748 Ҷ; Г) 6400 Ҷ; Д) 7479 Ҷ.

187. Барои дар сатҳи шиша бо дастаи атомҳои нукраи консентратсияаш  $n = 10^{18} \text{ м}^{-3}$ , ки бо суръати 390 м/с ҳаракат мекунад, ҳосил кардани қабати нукрагии ғафсиаш  $d = 5 \text{ мкм}$  чӣ қадар вақт лозим мешавад?

- А) 6 дақиқа; Б) 900 с; В) 4,5 дақиқа; Г) 180 с; Д) 5 дақиқа.

188. Дар фишори 400 кПа зичии яке аз газҳо  $1,6 \text{ кг/м}^3$ . Газии дуҷум массааш 2 кг ҳаҷми  $10 \text{ м}^3$ -ро дар фишори 200 кПа ишғол мекунад. Суръати миёнаи квадрати молекулаҳои газии дуҷум назар ба якум чанд маротиба зиёд аст?

- А) 3; Б) 5; В) 2; Г) 4; Д) 6.

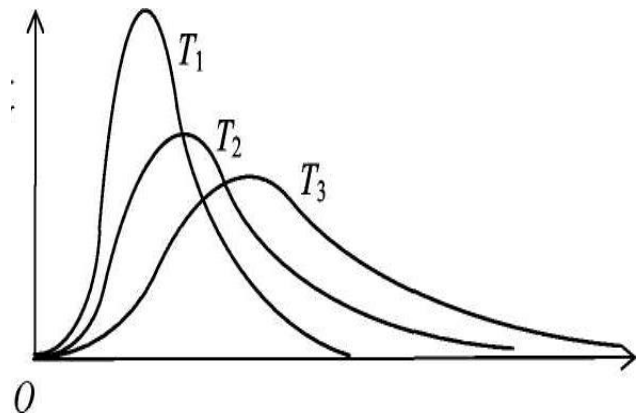
189. Ҳангоми ба 100 К баланшавии температураи газ суръати миёнаи квадратӣ аз 300 то 500 м/с афзуд. Боз чӣ қадар температураро баланд бардорем, ки суръати миёнаи квадратӣ то 700 м/с зиёд шавад?

- А) 50; Б) 100; В) 150; Г) 250; Д) 200.

190. Газеро, ки массааш 5 г аст, изотермӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то ҳаҷми  $V_2 = 2 V_1$  васеъ мекунад. Қори васеъшавӣ 1 кҶ мешавад. Суръати миёнаи квадрати молекулаҳои газро муайян намоед.

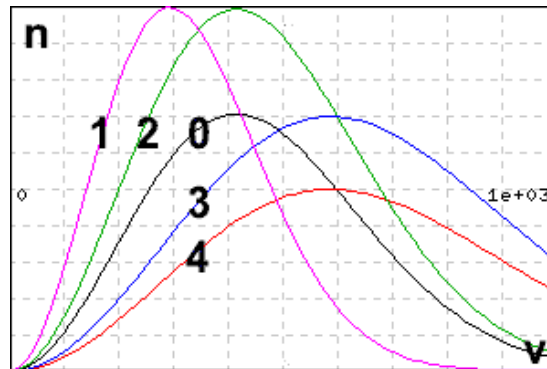
- А) 950 м/с; Б) 940 м/с; В) 920 м/с; Г) 930 м/с; Д) 910 м/с.

191. Дар расм қачии тақсимоли Максвелл барои се температура тасвир шудааст. Пай дар пайи дурустро нишон диҳед.



- А)  $T_1 < T_2 < T_3$ ; Б)  $T_1 < T_2 > T_3$ ; В)  $T_1 > T_2 < T_3$ ;  
 Г)  $T_1 > T_2 < T_3$ ; Д)  $T_1 > T_2 > T_3$ .

192. Качии 0 ба тақсимои Максвелл барои молекулаҳои ҳаво мувофиқи модули суръат дар  $T=300$  К рост меояд. Кадоме аз қачиҳо ба тақсимои Максвелл барои ҳамон молекулаҳо дар  $T=600$  К таалуқ дорад?



- А) қачии 1 (бунафш); Б) қачии 2 (сабз); В) қачии 3 (кабуд);  
 Г) қачии 4 (сурх); Д) намедонам.

193. Қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳои газ дар температураи  $-273,15$  °С чанд аст?

- А) 273,15 Ҷ; Б) 100 Ҷ; В) 50 Ҷ; Г) 0,6 Ҷ; Д) 0 Ҷ.

194. Энергияи дохилии гази идеалии якатома  $U=300$  Ҷ аст. Газ ҳаҷми  $V=2$  л-ро ишғол мекунад. Фишори газ чӣ қадар мебошад?

- А) 100 Па; Б)  $10^3$  Па; В)  $10^4$  Па; Г)  $10^5$  Па; Д)  $10^6$  Па.

195. Агар қимати миёнаи суръати квадратии молекулаҳо дар зарфи маҳкам ду маротиба зиёд шавад, фишори газ чӣ гуна тағйир меёбад?

- А) 4 маротиба меафзояд; Б) 4 маротиба кам мешавад;  
 В) 2 маротиба меафзояд; Г) 2 маротиба кам мешавад;  
 Д) 1,41 маротиба меафзояд.

196. Қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии молекулаҳои 2 кг гидрогенро дар температураи 400 К муайян кунед.

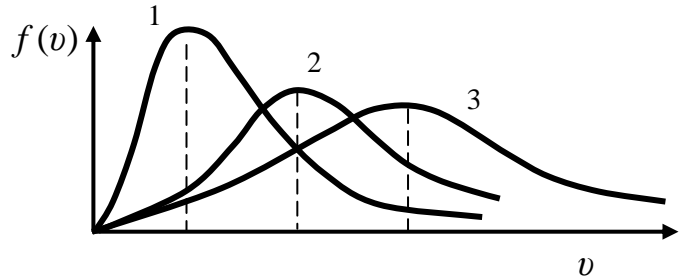
- А) 4986 кҶ; Б) 4906 кҶ; В) 4786 кҶ; Г) 4970 кҶ; Д) 4504 кҶ.

197. Қимати энергияи кинетикии ҳаракати чархзании молекулаҳои 2 кг гидрогенро дар температураи 400 К муқаррар намоед.

- А) 3324 кҶ; Б) 3306 кҶ; В) 3386 кҶ; Г) 3370 кҶ; Д) 3304 кҶ.

198. Дар расм графикҳои

функсияи тақсимоти молекулаҳои гази идеалӣ мувофиқи суръаташон (тақсимоти Максвелл) барои газҳои гуногун ( $H_2$ ,  $He$ ,  $N_2$ ) дар температураи муайян тасвир ёфтаанд. Ба кадом газ кадом график мувофиқ меояд?



Б)  $H_2-2$ ,  $He-1$ ,  $N_2-3$

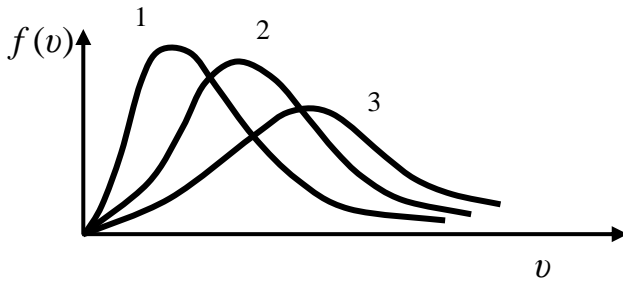
Г)  $H_2-3$ ,  $He-1$ ,  $N_2-2$

А)  $H_2-1$ ,  $He-2$ ,  $N_2-3$

В)  $H_2-3$ ,  $He-2$ ,  $N_2-1$

Д)  $H_2-1$ ,  $He-3$ ,  $N_2-2$

199. Дар се зарфи якандоза дар шароити якхела миқдори баробари водород, гелий ва нитроген ҷойгиранд. Ба тақсимоти молекулаҳои гелий мувофиқи суръаташон кадоме аз қачиҳои зерин мувофиқ меояд?



А) 1

Б) 2

В) 3

Г) наметоднам

Д) 1,3

200. Адади умумии дараҷаҳои озод барои молекулаи дуатомаи гази идеалӣ чанд аст?

А) 2; Б) 3; В) 4; Г) 5; Д) 6.

201. Молекулаи оксиген  $O_2$  чанд дараҷаи озод дорад?

А) 5; Б) 3; В) 6; Г) 2; Д) 7.

202. Дар температураи муътадил нисбати  $C_p/C_v$  барои гази идеалии дуатома ба чанд баробар аст?

А) 1; Б) 1,4; В) 1,33; Г) 1,67; Д) 1.

203. Ба молекулаи  $NH_3$  чанд адади дараҷаи озоди ҳаракати лапишноқ мувофиқ меояд?

А) 3; Б) 5; В) 6; Г) 7; Д) 9.

204. Дар ду балони якандоза ду гази гуногун ҷойгиранд. Энергияҳои дохилиашон баробар. Фишор дар балони якум назар ба дуум 2 маротиба зиёд аст. Газҳоро идеалӣ ҳисобида нисбати ададҳои дараҷаҳои озодашонро ёбед.

А) 2; Б) 1,5; В) 1,41; Г) 1,33; Д) 1,66.

205. Сурати эҳтимолтарини молекула назар ба суръати миёнаи квадратии чанд фоиз фарқ мекунад?

А) 22%; Б) 13%; В) 1,41%; Г) 25%; Д) 2%.

206. Суръати эҳтимолтарини молекулаҳои водородро дар температураи 400 К ёбед.

А) 1285 м/с; Б) 1823 м/с; В) 1604 м/с; Г) 1955 м/с; Д) 1902 м/с.

207. Гази идеалии дуатома дар зарфи ҳаҷмаш  $V=2$  л зери фишори  $P_1=2P_0$  ( $P_0=10^5$  Па) ҷойгир аст. Ҳангоми изохорӣ то  $P_2=P_0$  тағйир додани фишор газ ба муҳити атроф чӣ миқдори гармӣ медиҳад:

А) 500 Ҷ; Б)  $10^3$  Ҷ; В) 300 Ҷ; Г) 250 Ҷ; Д)  $10^5$  Ҷ.

208. Кадоме аз формулаҳои дар зер овардашуда тақсимооти Болсманро ифода мекунад?

А)  $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$ ;      Б)  $n = \frac{P}{kT}$ ;      В)  $P = P_0 \exp\left(-\frac{m_0gh}{kT}\right)$ ;

Г)  $P(h) = P_0 \exp\left(-\frac{h}{7.99}\right)$ ;      Д)  $P(h) = 101,3\left(1 - \frac{6.5h}{288}\right)^{5.255}$ .

209. Кадоме аз формулаҳои дар поён сабт ёфта формулаи барометриро ифода мекунад?

А)  $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$ ;      Б)  $n = \frac{P}{kT}$ ;      В)  $P = P_0 \exp\left(-\frac{m_0gh}{kT}\right)$ ;

Г)  $P(h) = P_0 \exp\left(-\frac{h}{7.99}\right)$ ;      Д)  $P(h) = 101,3\left(1 - \frac{6.5h}{288}\right)^{5.255}$ .

210. Фишори омехтаи газҳои оксиген ва аргон 25 кПа аст. Фишори ҷузъии оксиген 13 кПа буданашро ба назар гирифта фишори ҷузъии аргонро муайян кунед.

А) 12 кПа; Б) 8 кПа; В) 38 кПа; Г) 0,25 МПа; Д) 0,13 МПа.

211. Фишори атмосферӣ дар қучо зиёд аст?

А) Дар шаҳри Душанбе; Б) Дар ағбаи Анзоб;

В) Дар ағбаи Фахробод; Г) Дар сатҳи баҳр;

Д) Дар ҳамаи маҳалҳои номбаршуда якандоза аст.

212. Дар қадом баландӣ зичии ҳаво назар ба зичии он дар сатҳи баҳр  $e(2,71)$  маротиба кам аст? Чунин ҳисобед, ки температура ва шитоби афтиши озод ба баландӣ вобаста нестанд.

А)  $h=9,8$  км; Б)  $h=7,98$  км; В)  $h=10$  км; Г)  $h=2,71$  км; Д)  $h=4,98$  км.

213. Бо қадоме аз формулаҳои овардашуда фишори атмосфериро то баландии 11 км саҳеҳ ҳисоб кардан мумкин аст?

А)  $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$ ;      Б)  $n = \frac{P}{kT}$ ;      В)  $P = P_0 \exp\left(-\frac{m_0gh}{kT}\right)$ ;

Г)  $P(h) = P_0 \exp\left(-\frac{h}{7.99}\right)$ ;      Д)  $P(h) = 101,3\left(1 - \frac{6.5h}{288}\right)^{5.255}$ .

214. Агар температураи ҳаворо дар ҳама ҷой баробари (массаи моли ҳаво 0,029 кг/мол) 283 К ҳисобем, фишори ҳаво дар қадоме аз баландиҳои зерин 60%-и фишори он дар сатҳи баҳрро ташкил медиҳад:

А) 1 км; Б) 2 км; В) 3 км; Г) 4 км; Д) 5 км.

215. Агар температураи ҳаворо дар ҳама ҷой баробари (массаи моли ҳаво 0,029 кг/мол) 283 К ҳисобем, фишори ҳаво дар қадоме аз баландиҳои зерин 10% аз фишори он дар сатҳи баҳрро ташкил медиҳад:

А) 1 км; Б) 9 км; В) 25 км; Г) 19 км; Д) 31 км.

216. Дар баландии 10 км аз сатҳи Замин фишори ҳаво 30,4 кПа ва температурааш  $-43$  °С аст. Зичии ҳаворо дар ҳамин баландӣ муайян кунед. Массаи моли ҳаво 0,029 кг/мол.

А) 0,36 кг/м<sup>3</sup>; Б) 0,56 кг/м<sup>3</sup>; В) 0,26 кг/м<sup>3</sup>; Г) 0,46 кг/м<sup>3</sup>; Д) 0,16 кг/м<sup>3</sup>.

217. Фишори атмосферӣ дар баландии 100 м назар ба баландии 1000 м чанд маротиба зиёд аст? Массай моли ҳаво 0,029 кг/мол, температура бе-тағйир ва  $0^\circ\text{C}$  мебошад.

А) 1,12; Б) 2,9; В) 10; Г) 29; Д) 5.

218. Дар кадом протсес қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати молекулаҳо тағйир намеёбад?

А) Изотермӣ; Б) Изохорӣ; В) Изобарӣ; Г) Адиабатӣ;

Д) Дар ҳамаи изопротсесҳои маълум.

219. Қимати миёнаи энергияи кинетикии молекулаҳои гази идеалӣ  $6 \cdot 10^{-21}$  Ҷ, фишори газ  $4 \cdot 10^{-4}$  Па мебошанд. Шумораи молекулаҳои газро дар воҳиди ҳаҷм муайян кунед.

А)  $10^{17}$  м<sup>-3</sup>; Б)  $4,4 \cdot 10^{17}$  м<sup>-3</sup>; В)  $5,3 \cdot 10^{17}$  м<sup>-3</sup>; Г)  $7,8 \cdot 10^{17}$  м<sup>-3</sup>; Д)  $75 \cdot 10^{17}$  м<sup>-3</sup>.

220. Агар фишори оксиген 0,2 МПа ва қимати миёнаи суръати квадрати молекулаҳош 700 м/с бошад, концентратсияи молекулаҳо ёфта шавад.

А)  $10^{25}$  м<sup>-3</sup>; Б)  $4,2 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>; В)  $2,3 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>; Г)  $7,8 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>; Д)  $75 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

221. Қимати миёнаи суръати квадрати молекулаҳои кадоме аз газҳо: гидроген, гелий, карбон, нитроген, оксиген зиёдтарин аст?

А) гидроген; Б) гелий; В) карбон; Г) нитроген; Д) оксиген.

222. Агар гази массааш 6 кг дар фишори  $2 \cdot 10^5$  Па ҳаҷми 5 м<sup>3</sup>-ро ишғол намояд, қимати миёнаи суръати квадрати газ чӣ қадар мешавад?

А) 500 м/с; Б) 700 м/с; В) 400 м/с; Г) 900 м/с; Д) 600 м/с.

223. Зарфи ҳаҷмаш 0,02 м<sup>3</sup>-ро, ки пури ҳавои фишораш  $4 \cdot 10^5$  Па буд, бо зарфи ҳаҷмаш 0,06 м<sup>3</sup>, ки ҳавояш кашида шудааст, пайвастанд. Температураро доимӣ ҳисобида, фишори муқарраршударо ёбед.

А)  $10^4$  Па; Б)  $10^5$  Па; В)  $10^6$  Па; Г)  $10^7$  Па; Д)  $10^8$  Па.

224. Қимати миёнаи суръати квадрати кадоме аз газҳо: гидроген, гелий, карбон, нитроген, оксиген камтарин аст?

А) гидроген; Б) гелий; В) карбон; Г) нитроген; Д) оксиген.

225. Қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати ҳарорати молекулаҳои гази идеалии якатома дар температураи 300 К чӣ қадар мебошад?

А)  $6,3 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; Б)  $3 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; В)  $2 \cdot 10^{-21}$  Ҷ; Г)  $1 \cdot 10^{-20}$  Ҷ; Д)  $6 \cdot 10^{-20}$  Ҷ.

226. Ҳангоми мубодилаи гармӣ бе иҷрои кор дар системаҳои маҳдуд суммаи алгебравии миқдори гармиҳои гирифта ва додасуда ба сифр баробар. Ин таърифи:

А) қонуни якуми термодинамика; Б) қонуни дуҷуми термодинамика;

В) қонуни сеҷуми термодинамика; Г) муодилаи баланси гармӣ;

Д) теоремаи якуми Карно.

227. Миқдори гармии ба система додасуда ба тағйироти энергияи дохилии система ва кори он бар қисмҳои беруна сарф мешавад. Ин таърифи:

А) қонуни якуми термодинамика; Б) қонуни дуҷуми термодинамика;

В) қонуни сеҷуми термодинамика; Г) муодилаи баланси гармӣ;

Д) теоремаи якуми Карно.



228. Тағйироти энергияи дохилии система ҳангоми аз як ҳолат ба ҳолати дигар гузаштани он ба суммаи кори қувваҳои беруна ва миқдори гармии ба система додашуда баробар аст. Ин таърифи:

- А) қонуни якуми термодинамика; Б) қонуни дуҷуми термодинамика;  
 В) қонуни сеҷуми термодинамика; Г) муодилаи баланси гармӣ;  
 Д) теоремаи якуми Карно.

229. Дар табиат протсеси давриё, ки ягона натиҷааш ҳамаи миқдори гармии аз гармидеҳ ё муҳити атроф гирифташударо пурра ба қор табдил диҳад, номумкин аст. Ин таърифи:

- А) қонуни якуми термодинамика; Б) қонуни дуҷуми термодинамика;  
 В) қонуни сеҷуми термодинамика; Г) муодилаи баланси гармӣ;  
 Д) теоремаи якуми Карно.

230. Аз ҳамаи протсесҳои давриё, ки дар термодинамика бо ҳамон як гармидеҳу гармигир мегузаранд, ККФ-и калонтарин ба сикли Карно рост меояд. Ин таърифи:

- А) теоремаи якуми Карно; Б) теоремаи дуҷуми Карно; В) қонуни сеҷуми термодинамика; Г) қонуни якуми термодинамика; Д) наметоднам.

231. Газ аз манбаи гармӣ миқдори гармии 5 кҶ гирифта ҳангоми ва-сеъшавӣ кори 2 кҶ иҷро кард. Энергияи дохилии газ чӣ қадар тағйир ёфт?

- А) 3 кҶ афзудааст; Б) 3 кҶ қам шудааст; В) 7 кҶ қам шудааст;  
 Г) 7 кҶ афзудааст; Д)  $\Delta U = 0$ .

232. Ҳангоми  $\nu$  мол гидрогенро дар фишори доимӣ гарм қардан ҳаҷми он 2 маротиба афзуд. Температураи ибтидоии газ  $T_0$  мебошад. Миқдори гармии аз гармигир гирифтаи газ бо қадоме аз ифодаҳои зерин муайян қарда мешавад?

- А)  $5\nu RT_0/2$ ; Б)  $7\nu RT_0/2$ ; В)  $3\nu RT_0/2$ ; Г)  $5\nu RT_0$ ; Д)  $3\nu RT_0$ .

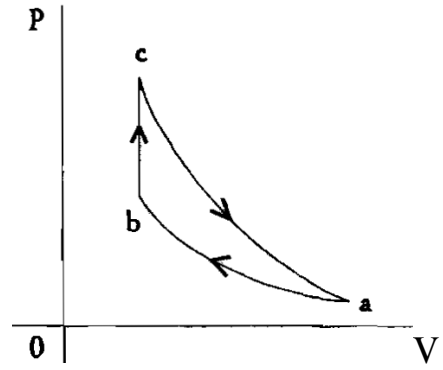
233. Гази идеалии якатома дар зарфи ғунҷоишаш 2 л таҳти фишори 100 кПа қойгир аст. Барои он ки фишори газ 2 маротиба зиёд шавад, ба газ чӣ қадар гармӣ додан лозим меояд?

- А) 630 Ҷ; Б) 350 Ҷ; В) 250 Ҷ; Г) 150 Ҷ; Д) 300 Ҷ.

234. Дар температураи 300 К гази миқдори моддааш 1 мол изохорӣ то 3 маротиба паст фурумадани фишораш сард қарда мешавад. Миқдори гармиро, ки газ ба муҳити атроф додааст, муайян кунед.

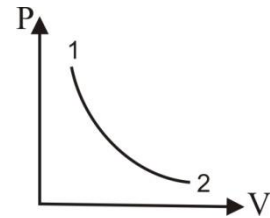
- А) -263 Ҷ; Б) -235 Ҷ; В) -249 Ҷ; Г) -215 Ҷ; Д) -230 Ҷ.

235. Дар расм протсеси сиклӣ тасвир шудааст: нуктаҳои  $a$  ва  $b$  дар изотерма меҳобанду нуктаҳои  $c$  ва  $d$  дар изохора. Қисми корӣ-гази идеалӣ кори  $A = Q_1 - Q_2$  иҷро кард, ки ин ҷо  $Q_1$ - миқдори гармии дар протсеси  $b-c$  аз гармидеҳ гирифташуда,  $Q_2$  – миқдори гармии дар протсеси изотермии  $a-b$  ба гармигир додашуда. Кори дар протсеси  $c-a$  иҷрокардаи газ баробар аст ба:



- А)  $Q_2$ ; Б)  $Q_1 + Q_2$ ; В)  $Q_1$ ; Г)  $A - Q_1$ ; Д)  $A + Q_2$ .

236. Дар расм адиабатаи протсеси гузариш аз ҳолати 1 ба ҳолати 2 оварда шудааст. Дар ин маврид температура чӣ гуна тағйир меёбад?



- А) кам мешавад; Б) меафзояд; В) тағйир намеёбад; Г) дар ибтидо кам мешаваду баъд меафзояд; Д) дар ибтидо меафзояду баъд кам мешавад.

237. Дар координатаҳои  $P, V$  ( $P$ -фишор бо килопаскалҳо,  $V$  – ҳаҷм бо литрҳо), графикаи протсеси даврӣ шакли хатҳои ростро дорад, бо нуктаҳои пайвастанандаи  $(100; 3)$ ,  $(200; 3)$  ва  $(200; 5)$ . Кори газро дар ин сикл муайян намоед.

- А) 400 Ҷ; Б) 80 Ҷ; В) 100 Ҷ; Г) 200 Ҷ; Д) 220 Ҷ.

238. Дар цилиндр зери поршен як миқдор газ мавҷуд, ки дар температураи  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  ва фишори  $P = 2 \cdot 10^5$  Па ҳаҷми  $V = 9 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>-ро ишғол мекунад. Ҳангоми дар фишори доимӣ фишурдани газ чӣ қадар кор иҷро шудааст, агар температураи он то  $t_2 = 77^\circ\text{C}$  баланд шуда бошад? Соиши байни девори цилиндр ва поршенро ба назар нагиред. Таваҷҷуҳ! Шарти масъала мумкин бемантиқ бошад.

- А) 300 Ҷ; Б) 200 Ҷ; В) 400 Ҷ; Г) 150 Ҷ; Д) 250 Ҷ.

239. Миқдори 700 г нитрогенро, ки температурааш 291 К аст, то кадом температура изобарӣ гарм кунем, ки кори васеъшавии газ 41,5 кҶ шавад?

- А) 425 К; Б) 373 К; В) 491 К; Г) 360 К; Д) 526 К.

240. Гази идеалии миқдораш 5 мол –ро ба 10 К чунон гарм карданд, ки температураи газ ба квадрати ҳаҷмаш мутаносибан тағйир меёбад. Кори иҷрокардаи газ чӣ қадар мешавад?

- А) 75 Ҷ; Б) 104 Ҷ; В) 135 Ҷ; Г) 207.5 Ҷ; Д) 415 Ҷ.

241. Дар  $V, P$  диаграмма графикаи протсес дар гази идеалӣ намуди хатти ростро дорад, ки нуктаҳои  $(0,8 \text{ л}; 100 \text{ кПа})$  ва  $(1 \text{ л}; 80 \text{ кПа})$ -ро мепай-



ванданд. Бузургии максималии энергияи дохилии газро дар ин протсес муайян намоед. Массайи газ доимӣ.

А) 202.5 Ҷ; Б) 121.5 Ҷ; В) 75.5 Ҷ; Г) 145 Ҷ; Д) 100 Ҷ.

242. Ҳангоми изобарӣ гарм кардани аргон кори  $A = 8$  Ҷ иҷро гардид. Ба газ чӣ қадар миқдори гармӣ дода шудааст?

А) 24 Ҷ; Б) 12 Ҷ; В) 40 Ҷ; Г) 16 Ҷ; Д) 20 Ҷ.

243. Дар ду зарфи якандоза миқдори баробари ҳаво мавҷуд аст. Ҳарду зарф дар шароити якхела қарор доранд. Дар зарфи якум концентратсияи молекулаҳо зиёд карданд, аммо қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати ҳароратии онҳо бетағйир монд. Дар зарфи дуюм энергияи миёнаи кинетикии ҳаракати ҳароратии молекулаҳо зиёд карда шуд, вале концентратсияи молекулаҳо бетағйир монд. Дар кадом зарф фишори ҳаво тағйир меёбад?

А) Якум; Б) Дуюм; В) Дар ҳарду зарф фишор зиёд мешавад;  
Г) Дар зарфи якум фишор зиёд мешаваду дар зарфи дуюм кам;  
Д) Тағйир намеёбад.

244. Формулаеро интихоб кунед, ки ба протсеси изотермӣ мувофиқ нест.

А)  $A = P(V_2 - V_1)$ ; Б)  $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$ ; В)  $Q = A$ ; Г)  $PV = const$ ; Д)  $P_1V_1 = P_2V_2$ .

245. Формулаи қонуни якуми термодинамика барои протсеси изохори-ро нишон диҳед.

А)  $Q = \Delta U$ ; Б)  $Q = \Delta U + A$ ; В)  $Q = A$ ; Г)  $A = -\Delta U$ ; Д)  $Q = 0$ .

246. Ба гази идеалӣ 15 Ҷ гармӣ доданд ва қувваҳои беруна бар он 18 Ҷ кор иҷро карданд. Энергияи дохилии газ чӣ қадар тағйир ёфт?

А) 3 Ҷ афзуд; Б) 3 Ҷ кам шуд; В) 33 Ҷ зиёд шуд;  
Г) 33 Ҷ кам шуд; Д) тағйир наёфт.

247. Кадом ҳиссаи энергияи кинетикии гелиро энергияи ҳаракати чарҳзанӣ ташкил медиҳад?

А) 0; Б) 2/5; В) 1/2; Г) 1; Д) 2/3.

248. Газ 300 Ҷ миқдори гармӣ қабул кард, энергияи дохилии он ба қадри 200 Ҷ афзуд. Кори иҷрокардаи газро ёбед.

А) 100 Ҷ; Б) 0; В) 200 Ҷ; Г) 500 Ҷ; Д) 300 Ҷ.

249. Молекулаи гелий чанд адади дараҷаи озод дорад?

А) 3; Б) 4; В) 2; Г) 5; Д) 6.

250. Дар ҳонаи ҳаҷмаш 70 м<sup>3</sup> температураи ҳаво 280 К буд. Баъд аз он ки дар оташдон алов карданд, температура то 296 К баланд шуд. Кори ҳаворо ҳангоми васеъшавӣ ёбед, агар фишор доимӣ 100 кПа монад.

А) 400 кҶ; Б) 4 кҶ; В) 40 кҶ; Г) 0,4 кҶ; Д) 0,04 кҶ.

251. Барои сард гардонидани 2 л об аз 80 °С то 60 °С ба он оби сарди 10 °С-ро ҳамроҳ мекунанд. Дар ин амал чӣ қадар оби сард лозим мешавад?

А) 0.8 л; Б) 1 л; В) 1.2 л; Г) 0.6 л; Д) 1,5.

252. Барои тайёр кардани ҳаммом (ванна) оби сарди температурааш 11 °С-ро бо оби гарми 66 °С якҷоя кардан лозим мешавад. Барои 110 л оби

температурааш  $36\text{ }^\circ\text{C}$  ҳосил кардан чӣ миқдор обҳои гарму сардро гирифтани лозим меояд?

А) 50 л ва 60 л; Б) 40 л ва 70 л; В) 70 л ва 40 л; Г) 60 л ва 50 л; Д) 80 л ва 30 л.

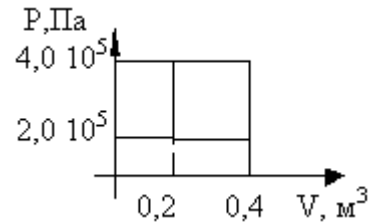
253. Дар зарфи обдори температурааш  $20\text{ }^\circ\text{C}$  ва гармиғунҷоиши умумиашон  $1,5\text{ кҶ/К}$  ба қадри 56 г яхи температурааш  $-8\text{ }^\circ\text{C}$  ҳамроҳ карданд.

Дар зарф кадом температура барқарор мешавад?

А) 270 К; Б) 279 К; В) 283 К; Г) 290 К; Д) 285 К.

254. Қоре, ки мошини ҳарорати дар як сикли дар расм тасвиршуда иҷро мекунад, баробар ба:

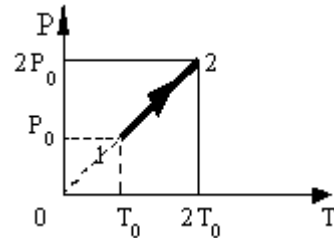
А) 40,0 кҶ; Б) 0,1 кҶ; В) 1,0 кҶ;  
Г) 10,0 кҶ; Д) 80,0 кҶ



255. Қори иҷрокардаи  $\nu$  мол гази идеалӣ дар протсеси 1-2:

А) 0; Б)  $\nu RT_0$ ; В)  $-\nu RT_0$ ;

Г)  $\frac{T_0 R}{2}$ ; Д)  $-\frac{3T_0 R}{2}$ .



256. Як мол газ сикли аз ду изохора ва ду изобара иборатро иҷро мекунад. Ҳаҷми хурдтарини газ 10 л, калонтаринаш 20 л. Фишори камтарин  $2,5\text{ атм}$ , зиёдтаринаш  $5\text{ атм}$ . Қори дар як сикл иҷрошударо ёбед:

А) 2,5кҶ; Б) 5кҶ; В) 10кҶ; Г) 20кҶ; Д) 30кҶ.

257. Газеро, ки дар фишори  $10^5\text{ Па}$  ҳаҷми  $V_1 = 11\text{ л}$  –ро ишғол мекард, изобарӣ аз  $20$  то  $100\text{ }^\circ\text{C}$  гарм карданд. Қори васеъшавии газро муайян намоед.

А) 400 Ҷ; Б) 500,5 Ҷ; В) 550 Ҷ; Г) 300,3 Ҷ; Д) 350,6 Ҷ.

258. Дар цилиндр  $1\text{ м}^3$  ҳаво дар температураи  $0\text{ }^\circ\text{C}$  зери фишори  $2 \cdot 10^5\text{ Па}$  ҷойгир аст. Ҳангоми изобарӣ ба  $10\text{ }^\circ\text{C}$  гарм кардан чӣ қадар қор иҷро мешавад?

А) 7326 Ҷ; Б) 7500 Ҷ; В) 6250 Ҷ; Г) 6325 Ҷ; Д) 6637 Ҷ.

259. Массайи гидрогени дар цилиндр зери поршен буда чӣ қадар аст, агар ҳангоми аз температураи  $T_1 = 250\text{ К}$  то температураи  $T_2 = 680\text{ К}$  гарм кардани газ қори  $A = 400\text{ Ҷ}$  иҷро шавад?

А) 0,4 г; Б) 0,2 г; В) 0,5 г; Г) 0,1 г; Д) 0,7 г.

260. Оксигени температурааш  $t_0 = 27\text{ }^\circ\text{C}$  –ро изобарӣ фишурда, ҳаҷмашро 5 маротиба хурд карданд. Қори қувваҳои берунаро, ки газро мефишоранд муайян намоед, агар массайи газ  $m = 160\text{ г}$  бошад.

А) 5 кҶ; Б) 7 кҶ; В) 8 кҶ; Г) 10 кҶ; Д) 12 кҶ.

261. Ҳангоми изобарӣ васеъ кардани як кмол газ кори  $A = 831$  кҶ иҷро шуд. Дар ҳолати ибтидоӣ ҳаҷми газ  $V_1 = 3$  м<sup>3</sup>, температурааш  $T_1 = 300$  К буд. Баъди васеъ кардан параметрҳои газ  $p_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$  чӣ қадарӣ мешаванд?

А)  $8,31 \cdot 10^5$  Па,  $4$  м<sup>3</sup>,  $400$  К; Б)  $8 \cdot 10^5$  Па,  $5$  м<sup>3</sup>,  $450$  К; В)  $9 \cdot 10^5$  Па,  $3,5$  м<sup>3</sup>,  $420$  К; Г)  $8,5 \cdot 10^5$  Па,  $4,5$  м<sup>3</sup>,  $500$  К; Д)  $9 \cdot 10^5$  Па,  $6$  м<sup>3</sup>,  $600$  К.

262. Ҳангоми изобарӣ аз температураи  $t_1 = 20$  °С то  $t_2 = 50$  °С гарм кардан газ кори  $A = 2,5$  кҶ-ро иҷро мешавад. Адади молекулаҳои газро, ки дар ин протсесс иштирок кардаанд, муайян намоед.

А)  $5 \cdot 10^{24}$ ; Б)  $4,5 \cdot 10^{24}$ ; В)  $6,3 \cdot 10^{24}$ ; Г)  $7 \cdot 10^{24}$ ; Д)  $5,4 \cdot 10^{24}$ .

263. Гармиғунҷоиши молии гази якатомаи идеалӣ ҳангоми доимӣ будани фишор чӣ қадар аст?

А)  $R/2$ ; Б)  $R$ ; В)  $3R/2$ ; Г)  $5R/2$ ; Д) намедонам.

264. Гармиғунҷоиши хоси оксигенро ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм муайян намоед.

А)  $450$  Ҷ/(кг К); Б)  $650$  Ҷ/(кг К); В)  $500$  Ҷ/(кг К);  
Г)  $350$  Ҷ/(кг К); Д)  $750$  Ҷ/(кг К).

265. Гармиғунҷоиши хоси оксиген ҳангоми доимӣ будани фишор чӣ қадар аст?

А)  $50$  Ҷ/(кг К); Б)  $150$  Ҷ/(кг К); В)  $910$  Ҷ/(кг К);  
Г)  $650$  Ҷ/(кг К); Д)  $950$  Ҷ/(кг К).

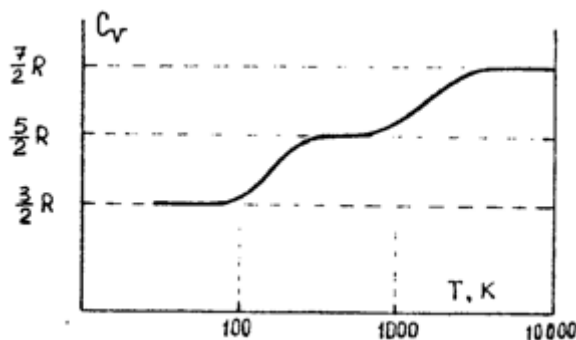
266. Гармиғунҷоиши хоси неонро ҳангоми доимӣ будани фишор муайян намоед.

А)  $1500$  Ҷ/(кг К); Б)  $1150$  Ҷ/(кг К); В)  $1910$  Ҷ/(кг К);  
Г)  $1040$  Ҷ/(кг К); Д)  $1950$  Ҷ/(кг К).

267. Гармиғунҷоиши хоси буғҳои симобро ҳангоми доимӣ будани фишор муқаррар намоед.

А)  $150$  Ҷ/(кг К); Б)  $150$  Ҷ/(кг К); В)  $110$  Ҷ/(кг К);  
Г)  $110$  Ҷ/(кг К); Д)  $103$  Ҷ/(кг К).

268. Дар расм вобастагии гармиғунҷоиши ягон газ ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм ба температура оварда шудааст. Ин протсесс ба кадом газ тааллуқ дорад?



А) гидроген( $H_2$ ); Б) гелий( $He$ ); В) метан( $CH_4$ ); Г) буғи об( $H_2O$ );  
Д) намедонам.

269. Ҳангоми дар фишори доимии  $10^5$  Па сард гардонидани газ ҳаҷми он аз 16 л то 12 л кам шуд. Дар ин маврид кори қувваҳои берунаро муқаррар намоед.

А) 100 Ҷ; Б) 200 Ҷ; В) 300 Ҷ; Г) 400 Ҷ; Д) 500 Ҷ.

270. Ҳангоми дар фишори доимии 0,1 МПа гарм кардани газ ҳаҷми он ба 2 л зиёд шуд. Кори васешавии газро ҳисоб кунед.

А) 0; Б) 0,7 кҶ; В) 2,3 кҶ; Г) 1,7 кҶ; Д) 200 Ҷ.

271. Дар мавриди доимӣ будани фишор ҳавои массааш 0,29 кг-ро ба қадри 20 К гарм карданд. Дар ин протсесс чӣ қадар кор иҷро шуд?

А) 0,7 кҶ; Б) 1,7 кҶ; В) 2,7 кҶ; Г) 3,7 кҶ; Д) 4,7кҶ.

272. Ҳангоми фишор ва ҳаҷми газ ду маротиба кам шудан энергияи дохилии гази идеалии якатома чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба зиёд; Б) 2 маротиба кам; В) 4 маротиба зиёд;

Г) 4 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

273. Формулаи ҳисоби энергияи дохилии гази идеалии кадом аст?

А)  $\Delta U = \Delta Q + \Delta A$ ; Б)  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ ; В)  $U = \nu RT$ ; Г)  $U = \frac{i}{2} \nu RT$ ; Д)  $\Delta U = 0$ .

274. Кори фишурдашавии газ ба тағйироти энергияи дохилии он баробар шуд. Ин ҳол ба кадом протсесс мувофиқ меояд?

А) Изотермӣ; Б) Изохорӣ; В) Изобарӣ; Г) Адиабатӣ;

Д) Дар ҳамаи протсессҳо.

275. Энергияи дохилии гази идеалии ҳангоми васеъшавии адиабатӣ чӣ гуна тағйир меёбад?

А)  $\Delta U = 0$ ; Б)  $\Delta U > 0$ ; В)  $\Delta U < 0$ ;

Г) Қиматҳои мусбӣ ва манфӣ гирифта мешавад;

Д) Қиматҳои манфӣ ва мусбӣ гирифта мешавад.

276. Дар балони маҳкам газ воқеъ гаштааст. Ҳангоми онро сард гардонидан энергияи дохилиаш 500 Ҷ кам шуд. Оё дар ин маврид газ кор иҷро мекунад?

А) Газ 500 Ҷ кор иҷро мекунад; Б) Кори иҷрокардаи газ 200 Ҷ мешавад;

В) Газ 250 Ҷ кор иҷро мекунад; Г) Газ кори дилхоҳро иҷро мекунад;

Д) Газ кор иҷро намекунад.

277. Оё чунин протсеси сарбастаеро амалӣ кардан мумкин аст, ки дар натиҷа ҳамаи миқдори гармии ба қисми корӣ додашуда пурра ба кори механикӣ табдил ёбад?

А) Мумкин аст; Б) Мумкин нест;

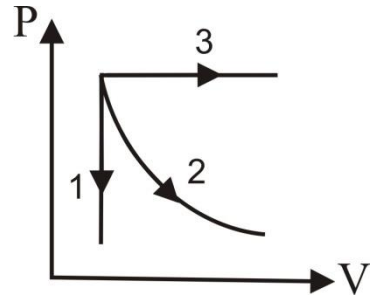
В) Мувофиқи қонуни якуми термодинамика имконпазир мешавад;

Г) Агар қисми кори гази реалӣ бошад, мумкин аст;

Д) Дар байни ҷавобҳои А-Г ҷавоби дуруст ҷой надорад.

278. Дар расм графикҳои протсеси тағйирёбии ҳолати гази идеалӣ тасвир ёфтааст. Дар кадоме аз ин протсесҳо кори зиёдтар иҷро мешавад?

- А) 1; Б) 2; **В) 3;** Г) 1,3;  
Д) Дар ҳама протсесҳо баробар.



279. Кадоме аз ин муодилаҳо энергияи дохилии массаи дилхоҳи гази идеалии бисёратомаро ифода мекунад?

- А)  $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$ ; Б)  $U = \frac{i}{2} kT$ ; В)  $U = \frac{i}{2} RT$ ; Г)  $U = \frac{m}{\mu} \frac{3}{2} RT$ ; Д)  $U = \frac{3}{2} kT$ .

280. Бо кадоме аз ифодаҳои зер қимати миёнаи энергияи кинетикии ҳаракати пешравии як молекулаи гази идеалиро муайян мекунанд?

- А)  $\frac{3}{2} kT$ ; Б)  $\frac{1}{2} nmv$ ; В)  $\frac{3}{2} nE$ ; Г)  $nkT$ ; Д)  $\frac{5}{2} kT$ .

281. Дар протсеси изохорӣ ба нитроген 70 Ҷ гармӣ интиқол ёфт. Чӣ қадар гармӣ барои афзудани энергияи дохилии нитроген сарф мешавад?

- А) 70 Ҷ; Б) 50 Ҷ; В) 20 Ҷ; Г) 35 Ҷ; Д) 7 Ҷ.

282. Агар ҳангоми ба газ 300 Ҷ миқдори гармӣ додан кори иҷрокардаи қувваҳои беруна 500 Ҷ бошад, тағйироти энергияи дохилии он чӣ қадар мешавад?

- А) 1000 Ҷ; **Б) 800 Ҷ;** В) 500 Ҷ; Г) 300 Ҷ; Д) 200 Ҷ.

283. Газ дар фишори 5 атм ҳаҷми 2 л-ро ишғол мекунад. Энергияи кинетикии ҳаракати пешравии ҳамаи молекулаҳои газро муайян намоед.

- А) 100 кҶ; Б) 3 кҶ; В) 5 кҶ; **Г) 1,52 кҶ;** Д) 7,25 кҶ.

284. Дар балони маҳкам газ ҷойгир аст. Ҳангоми сард кардан энергияи дохилии газ ба қадри 300 Ҷ кам гардид. Миқдори гармии хориҷшуда дар ин ҳол чӣ қадар мебошад?

- А) 300 Ҷ;** Б) 400 Ҷ; В) 500 Ҷ; Г) 600 кҶ;

Д) Чунин протсес вучуд надорад.

285. Газ ҳангоми ба қадри 100 Ҷ кам гардидани энергияи дохилиаш 500 Ҷ кор иҷро кард. Миқдори гармиро, ки газ дар ин ҳол қабул менамояд, ёфта шавад.

- А) 100 Ҷ; Б) 300 Ҷ; В) 500 Ҷ; **Г) 600 Ҷ;** Д) 700 Ҷ.

286. Гидрогени массааш 4 г дар фишори доимӣ ба қадри 10 К гарм карда шуд. Кори васеъшавии газ чӣ қадар аст?

- А) 264 Ҷ; Б) 126 Ҷ; **В) 166 Ҷ;** Г) 226 Ҷ; Д) 266 Ҷ.

287. Кадоме аз формулаҳои зерин ба кори элементарии иҷрокардаи газ тааллуқ дорад?

- А)  $\delta A = pdV$ ;** Б)  $\delta A = fdx$ ; В)  $\delta A = dU + pdV$ ;

Г)  $\delta Q = dU + \delta A$ ; Д)  $\delta A = qd\phi$ .

288. Кадоме аз формулаҳои зерин қонуни якуми термодинамикаро ифода мекунад?

- А)  $\delta A = pdV$ ;      Б)  $\delta A = fdx$ ;      В)  $\delta A = dU + pdV$ ;  
 Г)  $\delta Q = dU + \delta A$ ;      Д)  $\delta A = qd\phi$ .

289. Ба як миқдор гази идеалии якатома 250 Ҷ гармӣ дода шуд ва газ дар фишори доимии 100 кПа ба қадри 0,001 м<sup>3</sup> васеъ гардид. Тағйироти энергияи дохилии газро муайян кунед.

- А) 160 Ҷ; Б) 200 Ҷ; В) 450 Ҷ; Г) 150 Ҷ; Д) 650 Ҷ.

290. Энергияи дохилии 5 мол гази дуатомаро дар температураи 10 °С муайян намоед.

- А) 7,6 кҶ; Б) 17,6 кҶ; В) 29,4 кҶ; Г) 42 кҶ; Д) 67,6 кҶ.

291. Гази якатома, ки ҳаҷми 2 л-ро ишғол мекунад энергияи дохилиаш 300 Ҷ аст, чӣ қадар фишор меорад?

- А) 1 кПа; Б) 10 кПа; В) 30 кПа; Г) 100 кПа; Д) 250 кПа.

292. Вобастагии миқдори гармии интиқолиёфта ва кори иҷро мекардаи гази идеалӣ А дар протсеси васеъшавии изотермӣ чӣ гуна аст?

- А)  $Q = A$ ; Б)  $Q > A$ ; В)  $Q < A$ ; Г)  $Q = 0, A > 0$ ; Д)  $Q = 0, A < 0$ .

293. Агар ба система миқдори гармии  $Q$  дода шаваду қувваҳои ба он таъсировар кори  $A^1$  иҷро кунанд, энергияи дохили система чӣ гуна тағйир меёбад?

- А)  $\Delta U = Q$ ; Б)  $\Delta U = A$ ; В)  $\Delta U = Q + A^1$ ; Г)  $\Delta U = Q - A$ ; Д)  $\Delta U = A - Q$ .

294. Ҳангоми ба газ 400 Ҷ миқдори гармӣ додан энергияи дохилии он ба 300 Ҷ афзуд. Кори системаро ҳисоб кунед.

- А) 600 Ҷ; Б) 500 Ҷ; В) 400 Ҷ; Г) 100 Ҷ; Д) 200 Ҷ.

295. Ҳангоми ба газ 1000 Ҷ миқдори гармӣ додан энергияи дохилии он ба қадри 700 Ҷ афзуд. Кори иҷрокардаи система ба муқобили қувваҳои беруна ёфта шавад.

- А) 0; Б) 200 Ҷ; В) 300 Ҷ; Г) 400 Ҷ; Д) 100 Ҷ.

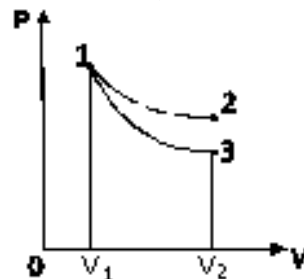
296. Ба цилиндри поршендор ҳангоми доимӣ будани температура барои васеъшавии як мол гази идеалӣ 300 Ҷ миқдори гармӣ интиқол ёфт. Кори ба тарзи изотермӣ васеъшавии газро ҳисоб кунед.

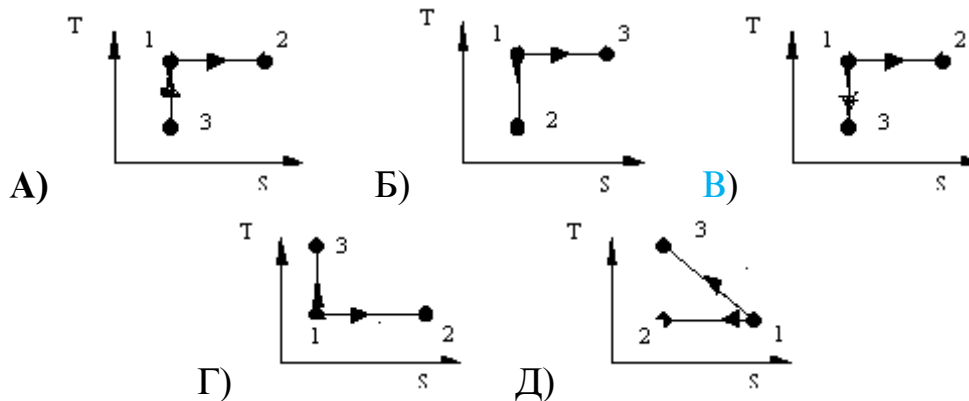
- А) 100 Ҷ; Б) 300 Ҷ; В) 500 Ҷ; Г) 700 Ҷ; Д) 900 Ҷ.

297. Аз ифодаҳои зерин кадоме ба формулаи конуни якуми термодинамика барои протсеси изохорӣ мувофиқ аст?

- А)  $Q = \Delta U$ ; Б)  $Q = \Delta U + A$ ; В)  $Q = A$ ; Г)  $A = -\Delta U$ ; Д)  $Q = 0$ .

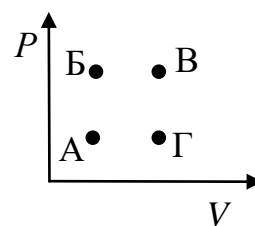
298. Дар диаграммаи  $p, V$  васеъшавии изотермӣ ва адиабатии гази идеалӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то ҳаҷми  $V_2$  тасвир ёфтааст. Ин протсесҳо дар диаграммаи  $T, S$  чӣ тавр тасвир мешаванд?





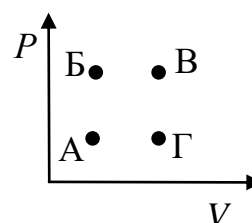
299. Дар кадом ҳолати дар расм тасвирёфта энергияи дохилии гази идеалӣ максималӣ аст?

А) А; Б) Б; **В) В**; Г) Г; Д) дар ҳамаҷо якхела.



300. Дар кадоме аз нуқтаҳои дар график тасвир ёфта энергияи дохилии гази идеалӣ минималӣ аст?

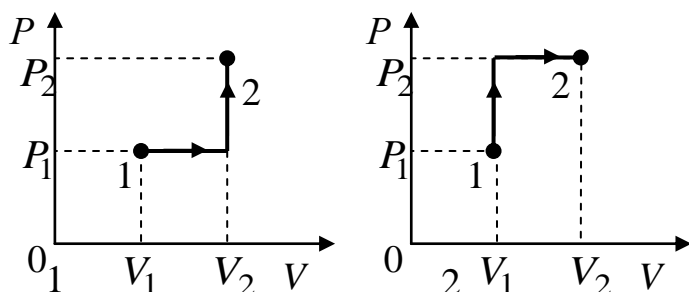
**А) А**; Б) Б; В) В; Г) Г; Д) дар ҳамаҷо якхела.



301. Гази идеалӣ васеъ шуда аз як ҳолат ба дигараш бо се роҳ мегузарад: 1) изобарӣ; 2) изотермӣ; 3) адиабатӣ. Кори дар ин протсессҳо иҷрошуда байни худ чӣ гуна таносуб доранд?

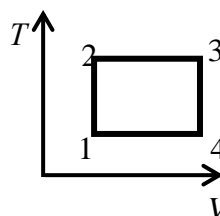
А)  $A_1 < A_2 < A_3$ ;      Б)  $A_1 > A_2 < A_3$ ;      **В)  $A_1 > A_2 > A_3$** ;      Г)  $A_1 = A_2 = A_3$ ;      Д)  $A_1 < A_2 > A_3$ .

302. Дар диаграммаҳои 1 ва 2 протсессҳои имконпазири тағйирёбии ҳолати гази идеалӣ тасвир ёфтаанд. Агар бузургии энергияи дохилӣ дар нуқтаҳои 1 ва 2 ба қадри  $U_1$ ,  $U_2$  бошад, он гоҳ:



А)  $U_1 > U_2$ ; Б)  $U_1=0, U_2>0$ ; В)  $U_1>0, U_2=0$ ; Г)  $U_1 < U_2$ ; **Д)  $U_1=U_2$** .

303. Бо газ протсеси сиклиеро, ки дар расм тасвир шудааст, мегузaronанд. Дар кадом қитъа қимати мутлақи кори газ зиёд аст?

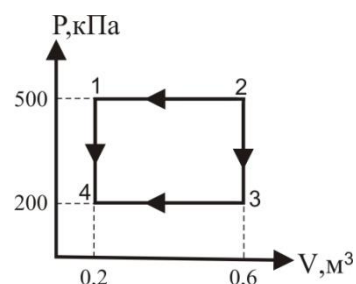




А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1; Д) ҷавоби аниқ додан мушкил.

304. Диаграммаи протсеси сиклии газӣ якатома дар расм тасвир ёфтааст. Нисбати қорҳои газро ҳангоми гарм кардан ва сардгардонӣ ёбед.

А) 5; Б) 2,5; В) 1,5; Г) 0,67; Д) 3.



305. Дар протсеси тағйирёбии ҳолати газ фишори он бо ҳаҷмаш чунин таносуб дошт:  $P = \alpha V$  ( $\alpha = \text{const}$ ). Ҳангоми аз  $V_1$  то  $V_2$  кам кардани ҳаҷм ба он қори зерин иҷро карда шуд:

А)  $\frac{\alpha}{2}(V_1 - V_2)^2$ ; Б)  $\frac{\alpha}{2}(V_1^2 - V_2^2)$ ; В)  $\alpha(V_1 - V_2)^2$ ; Г)  $\alpha(V_1 - V_2)$ ; Д)  $\alpha(V_1^2 - V_2^2)$

306. Дар  $P$ - $V$  диаграмма се роҳи гузаштани газ аз ҳолати I ба ҳолати II (а, б, в) тасвир карда шудааст. Таносуби дурусти миқдори гармиҳои гирифтаи газ чунин аст:

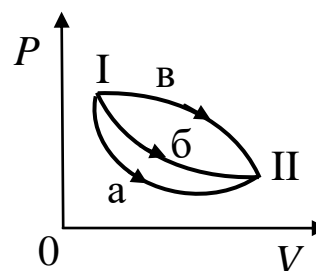
А)  $Q_a > Q_b > Q_v$

Б)  $Q_a = Q_b = Q_v$

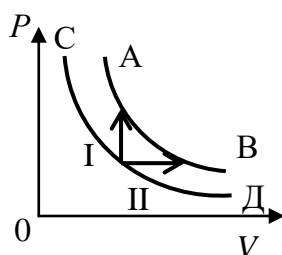
В)  $Q_a = Q_b < Q_v$

Г)  $Q_b > Q_v > Q_a$

Д)  $Q_a < Q_b = Q_v$



307. Дар расм изотермаҳои АВ ва СД тасвир ёфтаанд. Таносуби миқдори гармиҳои фурӯбардашуда ва тағйирҷи энергияи дохилии газ дар протсесҳои I ва II чунинанд:



А)  $Q_1 > Q_2$   $\Delta U_1 = \Delta U_2$

Б)  $Q_1 = Q_2$   $\Delta U_1 < \Delta U_2$

В)  $Q_1 < Q_2$   $\Delta U_1 = \Delta U_2$

Г)  $Q_1 = Q_2$   $\Delta U_1 = \Delta U_2$

Д)  $Q_1 < Q_2$   $\Delta U_1 > \Delta U_2$

308. Гармиғунҷоиши хоси гелий ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм баробар аст ба:

А) 1,5 Ҷ/кг К; Б) 1,7 Ҷ/кг К; В) 12,5 Ҷ/кг К; Г) 20,8 Ҷ/кг К; Д) 3117 Ҷ/кг К.

309. Гармиғунҷоиши молии гелий ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм баробар аст ба:

А) 1,5 Ҷ/мол К; Б) 1,7 Ҷ/мол К; В) 12,5 Ҷ/мол К; Г) 20,8 Ҷ/мол К; Д) 31 Ҷ/мол К.

310. Коэффисиенти Пуассон барои аргон :



А) 0,71; Б) 1,29; В) 1,33; Г) 1,4; Д) 1,67.

311. Газҳои идеалии  $O_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ne$ -ро бо тартиби зиёдшавии коэффициентҳои Пуассон ҷой кунед.

А)  $Ne$ ,  $O_2$ ,  $NH_3$  ;      Б)  $O_2$ ,  $Ne$ ,  $NH_3$  ;      В)  $NH_3$ ,  $O_2$ ,  $Ne$ ;  
Г)  $NH_3$ ,  $Ne$ ,  $O_2$  ;      Д)  $O_2$ ,  $NH_3$ ,  $Ne$ .

312. Гидрогене, ки температурааш  $0^\circ C$  аст, ҳангоми адиабатӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то  $V_2 = 2 V_1$  васеъ шудан, температурааш чӣ қадар паст мефуруяд?

А) 207 К; Б) 137 К; В) 97 К; Г) 48 К; Д) 34 К.

313. Адади дараҷаҳои озоди молекулаҳои газеро, ки нишондиҳандаи адиабатиаш 1,4 аст, муайян намоед.

А) 3; Б) 5; В) 6; Г) 7; Д) 9.

314. Дар протсеси адиабатӣ бузургии зерин доимӣ мемонад:

А) температура; Б) фишор; В) ҳаҷм; Г) энтропия; Д) энталпия.

315. Оксигенеро, ки дар температураи  $13^\circ C$  зери фишори 152 кПа ҷойгир аст, адиабатӣ фишурда ҳаҷмашро 12 маротиба хурд карданд. Фишори ниҳии он чӣ қадар мебошад?

А) 4,9 МПа; Б) 1,824 МПа; В) 490 кПа; Г) 12,7 кПа; Д) 49 кПа.

316. Ҳаҷми газ дар натиҷаи адиабатӣ фишурдан 10 маротиба хурд шуду фишораш 21,4 маротиба афзуд. Коэффициенти Пуассон баробар аст ба:

А) 1,4; Б) 1,33; В) 1,67; Г) 1,8; Д) 1,28.

317. Ҳавоеро, ки дар температураи  $13^\circ C$  зери фишори 152 кПа ҷойгир аст, адиабатӣ фишурда ҳаҷмашро 12 маротиба хурд карданд. Фишори ниҳии он баробар шуд ба:

А) 4,9 МПа; Б) 1,824 МПа; В) 490 кПа; Г) 12,7 кПа; Д) 49 кПа.

318. Гази идеалӣ васеъ шуда, аз як ҳолат ба дигараш бо се роҳ гузашта метавонад: 1) изобарӣ; 2) изотермӣ; 3) адиабатӣ. Қорҳои иҷрокардаи газ дар ин протсесҳо байни худ чӣ гуна таносуб доранд?

А)  $A_1 < A_2 < A_3$  ; Б)  $A_1 > A_2 < A_3$  ;      В)  $A_1 > A_2 > A_3$  ;  
Г)  $A_1 = A_2 = A_3$  ;      Д)  $A_1 < A_2 > A_3$  .

319. Як мол гази идеалии дуатома 20 Ҷ гармӣ гирифта, 15 Ҷ қор иҷро кард. Температураи газ чӣ қадар ва чигуна тағйир ёфт?

А) 5,2 К баланд шуд;      Б) 0,24 К баланд шуд;      В) 5,2 К паст шуд;  
Г) 0,24 К паст шуд;      Д) тағйир наёфт.

320. Ба гази идеалии дуатома дар протсеси изобарӣ миқдори гармии  $Q$  дода шуд. Барои афзудани энергияи дохилӣ кадом ҳиссаи гармӣ сарф гардид?

А) 0,25; Б) 0,29; В) 0,6;      Г) 0,71; Д) 0,75.

321. Температураи гидрогени массааш  $m = 4$  г ҳангоми васеъшавии адиабатӣ ба  $\Delta T = 10$  К паст шуд. Қори иҷрокардаи газ:

А) 218 Ҷ; Б) 249 Ҷ; В) 382 Ҷ ; Г) 416 Ҷ; Д) 588 Ҷ.

322. Ҳангоми адиабати васеъшавӣ 2 г гелий  $A = 259,3$  Ҷ қор иҷро мекунад. Дар ин протсес пастшавии температура:

А) 21 К; Б) 25 К; В) 62 К; Г) 42 К; Д) 13 К.

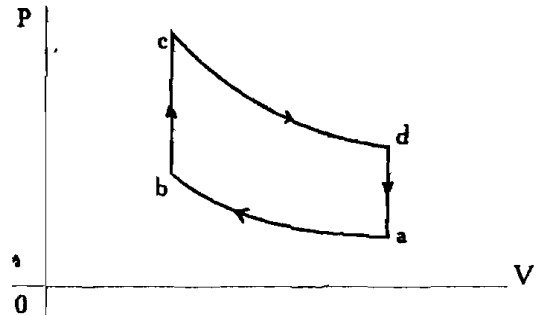
323. Нишондиҳандаи адиабатаро барои омехтаи газҳо, ки аз

$m = 7,0$  кг хлор Cl ва  $m = 4,4$  кг дуокиси карбон  $\text{CO}_2$  иборат аст, ёбед.

А) 1; Б) 1,37; С) 1,41; Г) 1,66; Е) 1,5.

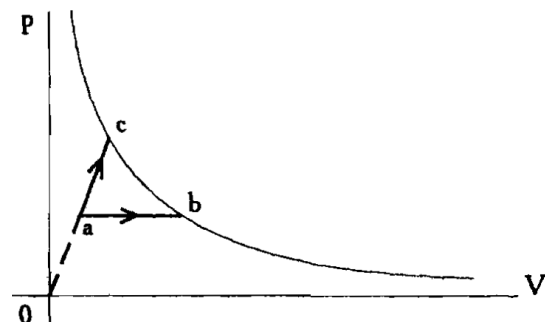
324. Дар расм сикли Стирлинг тасвир ёфтааст, ки аз ду изотерма ва ду изохора иборат мебошад. Кори дар як сикл иҷрошуда  $A = 3$  кҶ, миқдори гармии дар протсеси  $a \rightarrow b$  ба гармигир интиқолифта  $Q_{ab} = 2$  кҶ. Дар протсеси изотермии  $c \rightarrow d$  чӣ қадар қор иҷро шудааст?

А) 1 кҶ; Б) 2 кҶ; В) 3 кҶ; Г) 4 кҶ; Д) 5 кҶ.



325. Дар расм дар координатаҳои  $PV$  графикаи ду протсес  $a \rightarrow b$  ва  $a \rightarrow c$  тасвир карда шудаанд. Нуқтаҳои  $b$  ва  $c$  дар изотерма меҳобанд. Нисбати қорҳое, ки газ дар протсесҳои  $a \rightarrow c$  ва  $a \rightarrow b$  иҷро мекунад, чанд аст?

А)  $5/8$ ; Б)  $3/4$ ; В)  $3/8$ ; Г)  $1/2$ ; Д)  $1/4$ .



326. Молекулаи оксиген чанд адади дараҷаи озод дорад?

А) 5; Б) 3; В) 6; Г) 2; Д) 7.

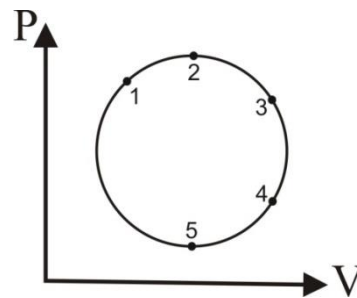
327. Қадоме аз муодилаҳои овардашуда энергияи дохилии массаи дилхоҳи гази бисёратомаро ифода мекунад?

А)  $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$ ;      Б)  $U = \frac{i}{2} kT$ ;      В)  $U = \frac{i}{2} RT$ ;

Г)  $U = \frac{m}{\mu} \frac{3}{2} RT$ ;      Д)  $U = \frac{3}{2} kT$ .

328. Дар расм протсеси давриё дар координатаҳои  $VT$  тасвир ёфтааст. Фишори зиёдтарин дар нуқтаи зерин аст:

А) 1; Б) 2; В) 3; Г) 4; Д) 5.



329. Аз формулаҳои зерин қадоме ҳамчун муодилаи Пуассон қабул шудааст?

А)  $PV^\gamma = \text{const}$ ;      Б)  $PV = \text{const}$ ;      С)  $PV = \nu RT$ ;

Г)  $P/T = \text{const}$ ;      Д)  $V/T = \text{const}$ .

330. Бо қадоме аз формулаҳои дар поён сабтёфта қори иҷрокардаи газро дар протсеси адиабатӣ муайян намудан мумкин аст?

А)  $A_p = P(V_2 - V_1)$ ;      Б)  $A = R(T_1 - T_2)/(\gamma - 1)$ ;      В)  $A_\nu = 0$ ;

$$\Gamma) A_T = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad \text{Д) } A_T = Q_T.$$

331. Кадоме аз формулаҳои зерин муодилаи политропа ҳисобида мешавад?

$$\text{А) } PV^\gamma = \text{const}; \quad \text{Б) } PV = \text{const}; \quad \text{В) } PV^n = \text{const}; \\ \text{Г) } PV = \nu RT; \quad \text{Д) } P/T = \text{const}.$$

332. Газ ба тарзи адиабатӣ фишурда мешавад. Дар ин маврид температура  $T$  ва фишори газ  $p$  чӣ гуна тағйир меёбанд?

$$\text{А) } T \text{ ва } P \text{ меафзоянд}; \quad \text{Б) } T \text{ меафзояд, } P \text{ паст мефурояд}; \\ \text{В) } T \text{ паст мешавад, } P \text{ меафзояд}; \quad \text{Г) } T \text{ ва } P \text{ паст мешаванд}; \\ \text{Д) } T \text{ бетағйир мемонад, } P \text{ меафзояд}.$$

333. Гармиғунҷоиши ( $C_p$ )-и омехтаи газҳоро, ки аз 3 кмол аргон ва 3 кмол нитроген таркиб ёфтааст, муайян кунед.

$$\text{А) } 385,22 \text{ Ҷ/(кг К)}; \quad \text{Б) } 735,3 \text{ Ҷ/(кг К)}; \quad \text{В) } 405,36 \text{ Ҷ/(кг К)}; \\ \text{Г) } 320,00 \text{ Ҷ/(кг К)}; \quad \text{Д) } 755,64 \text{ Ҷ/(кг К)}.$$

334. Нишондиҳандаи адиабатиро барои омехтаи газҳое, ки аз аргони  $Ar$  массааш  $m = 20$  г ва оксигени  $O_2$  массааш  $m = 32$  г таркиб ёфтааст, ёбед.

$$\text{А) } 1,46; \quad \text{Б) } 1,33; \quad \text{В) } 1,5; \quad \text{Г) } 1,66; \quad \text{Д) } 1,2.$$

335. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаи газро, ки  $\nu_1 = 1$  кмол аргон  $Ar$  ва  $\nu_2 = 2$  кмол оксиген  $O_2$  иборат аст, ёфта шавад.

$$\text{А) } 1; \quad \text{Б) } 1,46; \quad \text{В) } 1,33; \quad \text{Г) } 1,4; \quad \text{Д) } 1,5.$$

336. Гармиғунҷоиши молии гази идеалиро ҳангоми доимӣ будани ҳаҷм бо кадоме аз формулаҳои дар зер овардашуда ҳисоб мекунанд?

$$\text{А) } C_v = iR/2; \quad \text{Б) } C_p = (i+2)R/2; \quad \text{В) } C_p = C_v + R; \quad \text{Г) } c = C/M; \quad \text{Д) } C = cM.$$

337. Гармиғунҷоиши молии гази идеалиро ҳангоми доимӣ будани фишор бо кадоме аз формулаҳои зерин ҳисоб мекунанд?

$$\text{А) } C_v = iR/2; \quad \text{Б) } C_p = (i+2)R/2; \quad \text{В) } C_p = C_v + R; \quad \text{Г) } c = C/M; \quad \text{Д) } C = cM.$$

338. Аз ифодаҳои зерин кадоме муодилаи Майер мебошад?

$$\text{А) } C_v = iR/2; \quad \text{Б) } C_p = (i+2)R/2; \quad \text{В) } C_p = C_v + R; \quad \text{Г) } c = C/M; \quad \text{Д) } C = cM.$$

339. Ба батареяи гармкунии обӣ дар як сония ҳаҷми  $6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  оби температурааш  $80^\circ\text{C}$  дохил мешавад ва аз он бо температураи  $25^\circ\text{C}$  мебарояд. Дар як шабонарӯз хонае, ки гарм мекунем, чӣ қадар гармӣ мегирад?

$$\text{А) } 130 \text{ МҶ}; \quad \text{Б) } 120 \text{ МҶ}; \quad \text{В) } 140 \text{ МҶ}; \quad \text{Г) } 110 \text{ МҶ}; \quad \text{Д) } 150 \text{ МҶ}.$$

340. Бо кадоме аз формулаҳои зерин тағйироти энтропияи гази идеалиро дар протсеси изохорӣ ҳисоб кардан мумкин аст?

$$\text{А) } S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad \text{Б) } S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}; \quad \text{В) } S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1}; \\ \text{Г) } S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}; \quad \text{Д) } S_2 - S_1 = 0.$$

341. Бо кадоме аз формулаҳои дар зер сабтёфта тағйироти энтропияи гази идеалиро дар протсеси изотермӣ ҳисоб кардан имконпазир мебошад?

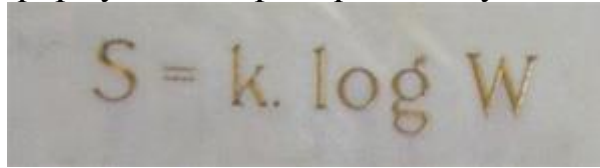
А)  $S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$ ; Б)  $S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ ; В)  $S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1}$ ;  
 Г)  $S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$ ; Д)  $S_2 - S_1 = 0$ .

342. Таносуби энтропия ва эҳтимолияти термодинамикии система бо кадоме аз формулаҳои зерин ифода мешавад?

А)  $S = k \ln W$ ; Б)  $\Delta S = S_2 - S_1$ ; В)  $\Delta S \geq 0$ ; Г)  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ ; Д)  $\Delta S < 0$ .

343. Дар тахтасанги болои қабри Л. Болсман сабт ёфтааст:

$S = k \log W$ . Дар ин формула  $W$  чиро ифода мекунад?



А) Адади умумии микроҳолатҳое, ки макроҳолати системаи термодинамикии додашуда амалӣ мегардад.

Б) Адади умумии макроҳолатҳое, ки микроҳолати системаи термодинамикии додашуда амалӣ мегардад.

В)  $W$  – ҷамъи энергияҳои кинетикии зарраҳои системаи термодинамикӣ.

Г)  $W = mgh/kT$ . Д) Намедонам.

344. Дар натиҷаи изохорӣ гарм кардани 1 г гидроген фишорааш 2 маротиба зиёд шуд. Тағйироти энтропияро муқаррар намоед.

А) 7,2 Ҷ/К; Б) 72 Ҷ/К; В) 8,5 Ҷ/К; Г) 7, Ҷ/К; Д) 6,4 Ҷ/К.

345. Тағйироти энтропияро ҳангоми обшавии 1 кг яхи температурааш  $0^\circ\text{C}$  ёбед.

А) 12 Ҷ/К; Б) 121 Ҷ/К; В) 110 Ҷ/К; Г) 1209 Ҷ/К; Д) 1900 Ҷ/К.

346. Ҳангоми изобарӣ аз ҳаҷми 5 л то ҳаҷми 9 л васеъ кардани 4 г нитроген энтропияи он чӣ қадар тағйир меёбад?

А) 4,45 Ҷ/К; Б) 2,84 Ҷ/К; В) 3,55 Ҷ/К; Г) 5,48 Ҷ/К; Д) 2,44 Ҷ/К.

347. Ҳаҷми ишғолкардаи гидрогени массааш 6,6 г изобарӣ ду баробар васеъ мешавад. Тағйироти энтропияро дар ин протсес ёбед.

А) 12 Ҷ/К; Б) 121 Ҷ/К; В) Ҷ/К; Г) 66,3 Ҷ/К; Д) 663 Ҷ/К.

348. Дар натиҷаи изотермӣ васеъшавӣ ҳаҷми 8 г оксиген ду маротиба афзуд. Тағйироти энтропияи газ дар ин маврид чӣ қадар мешавад?

А) 1,44 Ҷ/К; Б) 2,44 Ҷ/К; В) 1,11 Ҷ/К; Г) 1,07 Ҷ/К; Д) 1,23 Ҷ/К.

349. Обҳои гарму сарди массаашон баробар омехта карда мешаванд, сипас онҳо ба мувозинатии термодинамикӣ меоянд. Дар ин маврид энтропия чӣ гуна тағйир меёбад?

А) меафзояд; Б) доимӣ мемонад; В) кам мешавад;  
 Г) энтропия аввал меафзояду баъд кам мешавад;  
 Д) энтропия аввал кам мешаваду баъд меафзояд.

350. Яхи массааш 10 г-ро, ки температурааш  $-20^{\circ}\text{C}$  мебошад, гарм карда ба буғи  $100^{\circ}\text{C}$  табдил доданд. Тағйироти энтропияро муайян намоед.

А) 88 Ҷ/К; Б) 11,2 Ҷ/К; В) 2,9 Ҷ/К; Г) 8,8 Ҷ/К; Д) 1,5 Ҷ/К.

351. Ҳангоми изохорӣ гарм кардани 2 г гидроген фишори он 2 маротиба афзуд. Тағйироти энтропия дар ин маврид чӣ қадар аст?

А) 1,8 Ҷ/К; Б) 2,2 Ҷ/К; В) 3,6 Ҷ/К; Г) 7,2 Ҷ/К; Д) 14,4 Ҷ/К.

352. Тағйироти энтропияро ҳангоми изобарӣ аз ҳаҷми 10 л то ҳаҷми 25 л васеъшавии 8 г гелий муайян кунед.

А) 28,7 Ҷ/К; Б) 35,4 Ҷ/К; В) 25,9 Ҷ/К; Г) 38,1 Ҷ/К; Д) 40,3 Ҷ/К.

353. Дар мавриди изотермӣ васеъшавии 6 г гидроген аз фишори 100 кПа то фишори 50 кПа тағйироти энтропия чӣ қадар мешавад?

А) 18,7 Ҷ/К; Б) 15,4 Ҷ/К; В) 15,9 Ҷ/К; Г) 18,1 Ҷ/К; Д) 17,3 Ҷ/К.

354. Ҳаҷми ишғолкардаи нитрогени массааш 10,5 г изотермӣ аз 2 л то 5 л васеъ мешавад. Тағйироти энтропияро дар ин протсесс ҳисоб кунед.

А) 1,87 Ҷ/К; Б) 2,85 Ҷ/К; В) 1,59 Ҷ/К; Г) 1,81 Ҷ/К; Д) 1, Ҷ/К.

355. Ҳангоми адиабатӣ васеъшавии 2 кг оксиген ҳаҷми он 5 маротиба афзуд. Тағйироти энтропия дар ин маврид чӣ қадар аст?

А) 4,25 Ҷ/К; Б) 4,0 Ҷ/К; В) 2,5 Ҷ/К; Г) 1,5 Ҷ/К; Д) 0 Ҷ/К.

356. Ҳангоми адиабатӣ васеъшавии 10 г оксиген ҳаҷми он 4 маротиба афзуд. Тағйироти энтропияро дар ин маврид ёбед.

А) 0 Ҷ/К; Б) 7,2 Ҷ/К; В) 10,8 Ҷ/К; Г) 15,2 Ҷ/К; Д) 20,4 Ҷ/К.

357. Ҳангоми гарм кардани 3 мол гази дуатома температураи он 2 маротиба афзуд. Агар гармкунӣ адиабатӣ гузашта бошад, тағйироти энтропия дар ин маврид чӣ қадар аст?

А)  $-27,4$  Ҷ/К; Б) 0 Ҷ/К; В) 17,3 Ҷ/К; Г)  $-17,3$  Ҷ/К; Д) 2,1 Ҷ/К.

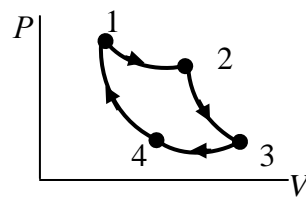
358. ККФ-и сикли Карно барои муҳаррикҳои ҳароратӣ бо кадоме аз формулаҳои зерин муайян карда мешавад?

А)  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ; Б)  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ ; В)  $\eta < \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ; Г)  $\eta > \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ; Д)  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ .

359. Гази идеалӣ сиклро иҷро мекунад, ки аз ду изотерма ва ду адиабата иборат аст. Тағйироти энтропияро дар ин сикл: ёбед.

А)  $\Delta S = 0$ ; Б)  $\Delta S > 0$ ; В)  $\Delta S < 0$ ; Г)  $\Delta S \geq 0$ ;

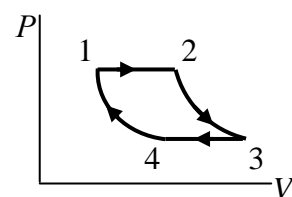
Д) ҷавоби ягона додан мушқил.



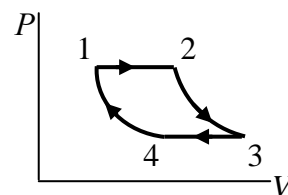
360. Гази идеалӣ сиклро иҷро мекунад, ки аз ду изобара ва ду адиабата иборат аст. Дар кадом қитъа кори иҷрокардаи газ мусбат асту энергияи дохилӣ ва энтропия меафзояд?

А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1;

Д) ҷавоби ягона додан мушқил.



361. Гази идеалӣ сиклоро иҷро мекунад, ки аз ду изобара ва ду адиабата иборат аст. Дар кадом қитъа кори иҷрокардаи газ манфӣ аст? Энтропия кам мешавад?



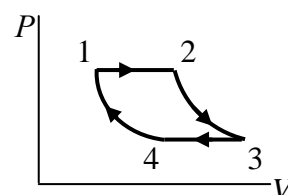
А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1;

Д) ҷавоби ягона додан мушкил.

362. Барои адиабатӣ фишурдани 4 г гелий (массаи молиаш 0,004 кг/мол) 600 Ҷ қор иҷро карда шуд. Тағйироти температураи гелиро дар ин протсес ёбед.

А) 48 К; Б) -72 К; В) -24 К; Г) 0 К; Д) 96 К.

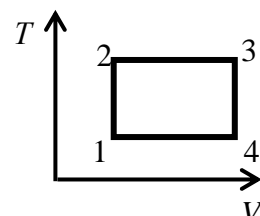
363. Гази идеалӣ сиклоро иҷро мекунад, ки аз ду изобара ва ду адиабата иборат аст. Дар кадом қитъа кори иҷрокардаи газ манфӣ аст? Тағйир намеёбад?



А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1;

Д) чунин қитъа дар ин сикл нест.

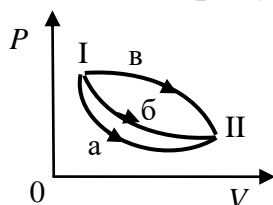
364. Бо як мол аргон протсеси сиклиро мегузаронанд, ки дар расм тасвир шудааст. Тағйироти энтропияи газ дар қитъаи 1-2 :



А)  $R \ln 3$ ; Б)  $-1,5R \ln 3$ ; В)  $1,5R \ln 3$ ;

Г)  $-2,5R \ln 3$ ; Д)  $2,5R \ln 3$ .

365. Дар P,V диаграмма се роҳи гузариши газ аз ҳолати I ба ҳолати II (а, б, в) тасвир шудааст, тағйироти энтропия дар роҳи зерин зиёдтарин аст:



А) I а II; Б) I б II; В) I в II;

Г)  $\Delta S_a = \Delta S_b = \Delta S_v$

Д) маълумот кифоя нест.

366. Оксигени массааш 10 г изотермӣ васеъ шуда ҳаҷмашро 4 маротиба зиёд кард. Тағйироти энтропия дар ин маврид:

А) 15,2 Ҷ/К; Б) 7,2 Ҷ/К; В) 20,4 Ҷ/К; Г) 3,6 Ҷ/К; Д) 10,8 Ҷ/К.

367. Гази идеалӣ изотермӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то  $V_2$  васеъ шуд. Дар ин протсес фишор ва энтропияи он мувофиқан чунин тағйир ёфтанд:

А) аз  $p_1$  то  $p_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $S = \text{const}$ ; Б) аз  $p_1$  то  $p_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$

В)  $p = \text{const}$ ,  $\Delta S = p(V_2 - V_1)$  Г) аз  $p_1$  то  $p_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i}{2} \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$

Д) аз  $p_1$  то  $p_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i+2}{2} \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$

368. Гази идеалӣ изобарӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то  $V_2$  васеъ шуд. Дар ин протсес температура ва энтропияи он мувофиқан чунин тағйир ёфтанд:



А) аз  $T_1$  то  $T_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$  ;

Б)  $T = \text{const}$ ,  $\Delta S = p(V_2 - V_1)$

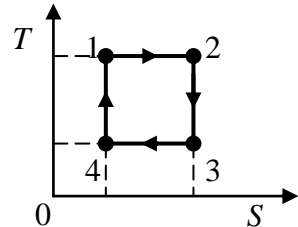
В) аз  $T_1$  то  $T_1 \frac{V_1}{V_2}$ ,  $\Delta S = -\nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$  ;

Г) аз  $T_1$  то  $T_1 \frac{V_2}{V_1}$ ,  $\Delta S = \frac{i+2}{2} \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$

Д)  $T = \text{const}$ ,  $\Delta S = -p(V_2 - V_1)$  .

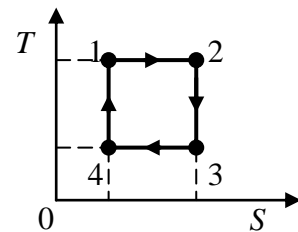
369. Дар расм сикли карно дар координатаҳои  $(T, S)$ , ин ҷо  $S$  – энтропия, тасвир ёфтааст. Дар қитъаи зерин васеъшавии изотермӣ ба вучуд меояд:

А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1; Д) намедонам.



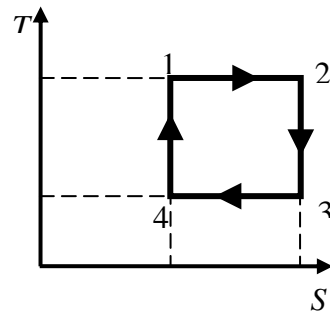
370. Дар расм сикли карно дар координатаҳои  $(T, S)$  (ин ҷо  $S$  – энтропия), тасвир ёфтааст. Дар қитъаи зерин васеъшавии адиабатӣ ба вучуд меояд:

А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1; Д) намедонам.



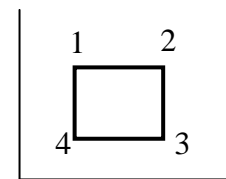
371. Дар расм сикли Карно дар координатаҳои  $(T, S)$  (ин ҷо  $S$  – энтропия), тасвир ёфтааст. Дар қитъаи зерин ба система гармӣ дода мешавад:

А) 1-2; Б) 2-3; В) 3-4; Г) 4-1; Д) намедонам.

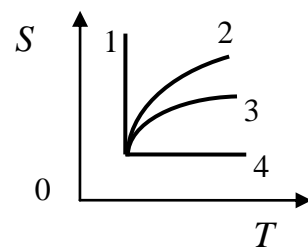


372. Дар расм сикли Карно тасвир ёфтааст. Тирҳои координатӣ ба параметрҳои зерин мувофиқ меоянд:

А)  $V, P$ ; Б)  $V, S$ ; В)  $T, P$ ; Г)  $S, T$ ; Д)  $S, P$ .



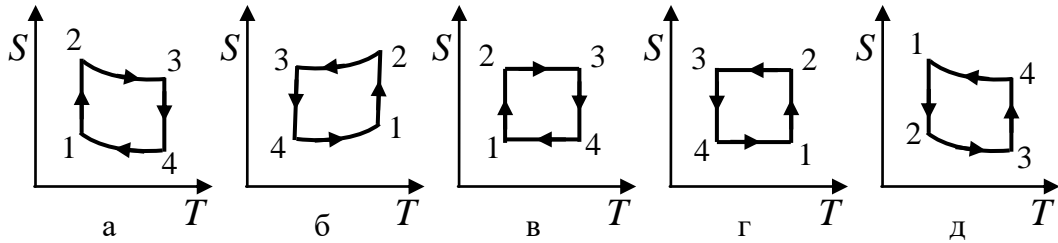
373. Аз ҳолати ибтидоӣ газ ба ҳолатҳои дигари 1,2,3,4 бо роҳҳои гуногун мегузарад. Графикҳои вобастагии энтропия ба температура ба протсессии зерин мувофиқ меояд:



А) 0-1 изотермӣ, 0-2 адиабатӣ, 0-3 изобарӣ, 0-4 изохорӣ; Б) 0-1 изотермӣ, 0-2 изобарӣ, 0-3 изохорӣ, 0-4 адиабатӣ; В) 0-1 изотермӣ, 0-2 изохорӣ, 0-3 изобарӣ, 0-4 адиабатӣ; Г) 0-1 изохорӣ, 0-2 адиабатӣ, 0-3 изобарӣ, 0-4 изотермӣ;

Д) 0-1 изотермӣ, 0-2 изобарӣ, 0-3 адиабатӣ, 0-4 изохорӣ.

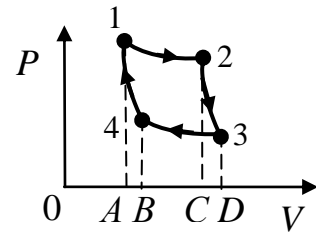
374. Сикли Карно аз протсесҳои: 1. изотермӣ васеъшавӣ, 2. васеъшавии адиабатӣ, 3. фишурдашавии изотермӣ, 4. фишурдашавии адиабатӣ иборат мебошад. Дар координатаҳои  $T, S$  дар кадом расми зерин сикл дуруст тасвир ёфтааст?



А) а; Б) б; В) в; Г) г; Д) д.

375. Дар  $P-V$  диаграмма сикли Карно тасвир ёфтааст. Миқдори гармии дар як сикл ҷисми корӣ ба гармигир додашуда ба масоҳати зерин баробар аст:

А) A14B; Б) A143D; В) C23B;  
Г) B43D; Д) A14B+C23D.

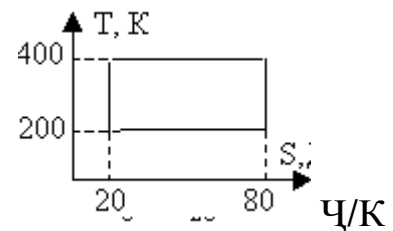


376. Дар мошини ҳароратии идеалӣ температураи гармидеҳ назар ба температураи гармигир 3 маротиба зиёд аст. Газ аз гармидеҳ 42 кҶ гарми гирифт. Кори иҷрокардаи газ:

А) 14 кҶ ; Б) 21 кҶ ; В) 28 кҶ ; Г) 39 кҶ ; Д) 63 кҶ .

377. Кори иҷрокардаи газро дар сикли (сикли Карно) дар расм тасвиршуда муайян кунед.

А) 12 кҶ ; Б) 118 кҶ; В) 30 кҶ; Г) 24 кҶ;  
Д) 40 кҶ.



378. Мухаррики ҳароратии идеалӣ, ки температураи гармидеҳаш 750 К ва температураи гармигираш 300 К аст, дар тӯли вақте 360 Ҷ кор иҷро кард. Мухаррик чӣ қадар гармиро ба гармигир додааст?

А) 360 Ҷ; Б) 240 Ҷ; В) 550 Ҷ; Г) 750 Ҷ; Д) 635 Ҷ.

379. Дар мошини ҳароратии идеалӣ аз ҳисоби ҳар як килоҷоул энергияи аз гармидеҳ интиқолёфта 300 Ҷ кор иҷро мешавад. ККФ ва температураи гармидеҳро муайян кунед, агар температураи гармигир 280 К бошад.

А) 30%, 400К; Б) 10%, 100К; В) 20%, 200К; Г) 30%, 300К; Д) 40%, 500К.

380. Гази идеалие, ки сикли Карноро иҷро мекунад,  $2/3$  ҳиссаи гармии аз гармидеҳ гирифташро ба гармигир медиҳад. Температураи гармигир 280К. Температураи гармидеҳ:



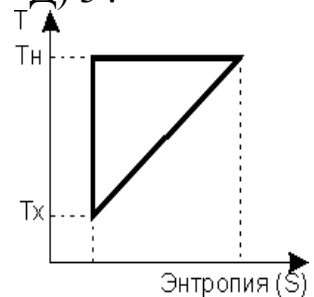
А) 420 К; Б) 380 К; В) 300 К; Г) 200 К; Д) 100 К.

381. Гази идеалие, ки сикли Карноро ичро мекунад,  $2/3$  ҳиссаи гармии аз гармидеҳ гирифтаашро ба гармигир медиҳад. Температураи гармидеҳ назар ба температураи гармигир чанд маротиба зиёд аст?

А) 0,67; Б) 1,5 ; В) 1,67 ; Г) 2 ; Д) 3 .

382. ККФ-и мошини ҳароратие, ки сикли дар расм тасвир шударо ичро мекунад, чӣ гуна аст?

А)  $(T_H - T_X)/T_H$ ; Б)  $(T_H - T_X)/T_X$ ; В)  $(T_H - T_X)/2T_H$ ;  
Г)  $(T_H - T_X)/2T_X$ ; Д) намедонам.



383. ККФ-и сикли Карноро муайян намоед, агар температураи гармидеҳ ва гармигир мувофиқан 200 ва  $15^\circ\text{C}$  бошанд. Температураи гармидеҳро чӣ қадар баланд кунем, ки ККФ-и сикл 2 маротиба афзояд?

А)  $175^\circ\text{C}$ ; Б)  $185^\circ\text{C}$ ; В)  $165^\circ\text{C}$ ; Г)  $155^\circ\text{C}$ ; Д)  $145^\circ\text{C}$ .

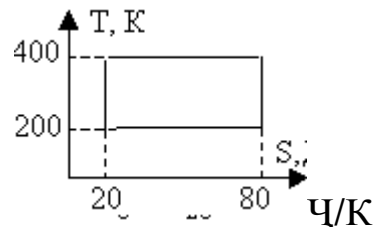
384. Газ аз гармидеҳ 4 кҶ гарми гирифта протсеси сарбастеро ичро кард. ККФ-и сикл 10%. Кори ичрокардаи газ дар сикл баробар аст ба:

А) 400 Ҷ; Б) 4000 Ҷ; В) 1200 Ҷ; Г) 200 Ҷ; Д) 800 Ҷ.

385. Дар як сикл мошини ҳароратӣ аз гармидеҳ 100 Ҷ миқдори гармӣ гирифта 60 Ҷ-и онро ба мухити атроф медиҳад. ККФ-и мошини ҳароратӣ чанд фоиз аст?

А) 15%; Б) 25%; В) 30%; Г) 40%; Д) 50%.

386. Миқдори гармии аз гармидеҳ гирифтаи ҳисси кориро дар сикли (сикли Карно) дар расм тасвиршуда муайян кунед.



А) 24 кҶ; Б) 18 кҶ; В) 30 кҶ; Г) 12 кҶ;  
Д) 40 кҶ.

387. Дар сикли Карно аз ҳисоби ҳар як килоҷоул энергияи аз гармидеҳ гирифта 300 Ҷ кор ичро мешавад. ККФ-и сикл чӣ қадар аст?

А) 17%; Б) 22%; В) 30%; Г) 48%; Д) 57%.

388. Агар температураи гармидеҳ  $227^\circ\text{C}$  ва температураи гармигир  $27^\circ\text{C}$  бошанд, ба қимати калонтарини ККФ-и мошини ҳароратӣ баҳо диҳед.

А) 12%; Б) 24%; В) 36%; Г) 40%; Д) 53%.

389. Мошини идеалӣ аз гармидеҳ дар 1с ба қадри 60 кҶ гармӣ мегирад. Агар ККФ-и мошини идеалӣ 23% бошад, тавоноии онро ҳисоб кунед.

А) 14 кВт; Б) 24 кВт; В) 36 кВт; Г) 46 кВт; Д) 56 кВт.

390. Газ ҳангоми иҷро кардани сикли Карно аз гармидеҳ 1 кҶ миқдори гармӣ гирифт. Агар ККФ-и мошини идеалӣ 25% бошад, ба гармигир чӣ қадар гармӣ интиқол меёбад?

А) 400 Ҷ; Б) 550 Ҷ; В) 750 Ҷ; Г) 850 Ҷ; Д) 950 Ҷ.

391. Агар температураҳои гармидеҳ ва гармигир мувофиқан 727 °С ва 27 °С бошанд, коэффисиенти кори фойданоки сикли Карноро ҳисоб кунед.

А) 20%; Б) 100%; В) 30%; Г) 43%; Д) 70%.

392. ККФ-и мошини ҳароратӣ  $\eta = 0,3$ . Дар натиҷаи мукамалкунӣ мошин миқдори гармии дар як давр мегирифтаи он 5% афзуду миқдори гармии ба гармигир меодаи он тағйир наёфт. ККФ-и мошини такмилдодашуда:

А) 0,36; Б) 0,39; В) 0,33; Г) 0,35; Д) 0,4.

393. ККФ-и мошини ҳароратӣ 20%. Агар талафи гармиро 50% кам кунем, ККФ чӣ қадар мешавад?

А) 30%; Б) 70%; В) 60%; Г) 40%; Д) 50%.

394. Мошини ҳароратӣ дар як давр аз гармидеҳ миқдори гармии 100Ҷ-ро мегираду ба гармигир 75 Ҷ гармиро медиҳад. ККФ-и мошинро ёбед.

А) 20%; Б) 40%; В) 80%; Г) 25%; Д) 32%.

395. Дар мошини ҳароратии идеалӣ газ 60%-и гармии аз гармидеҳ гирифтаашро ба гармигир медиҳад. Агар температураи гармидеҳ 450 К бошад, температураи гармигир чӣ қадар аст?

А) 270 К; Б) 200 К; В) 300 К; Г) 323 К; Д) 273 К.

396. Мошини ҳароратии идеалӣ, ки температураи гармидеҳаш  $T_1 = 750$  К мебошад, дар ягон фосилаи вақт кори  $A = 300$  Ҷ-ро иҷро мекунад. Дар ин фосилаи вақт чӣ қадар гармиро ба гармигири температурааш  $T_2 = 300$  К додааст?

А) 100 Ҷ; Б) 250 Ҷ; В) 50 Ҷ; Г) 200 Ҷ; Д) 150 Ҷ.

397. Дар мошини ҳароратии идеалӣ аз ҳисоби ҳар як килоҷоул гармии аз гармидеҳ гирифтааш кори 400 Ҷ-ро иҷро мекунад. Агар температураи гармигир 300 К бошад температураи гармидеҳ баробар аст ба:

А) 500 К; Б) 400 К; В) 450 К; Г) 600 К; Д) 650 К.

398. ККФ-и мошини ҳароратӣ 40%. Агар миқдори гармии мегирифтааш ба 20% афзояду миқдори гармии ба гармигир меодааш 10% кам гардад, ККФ-и мошин чӣ қадар мешавад?

А) 75%; Б) 55%; В) 45%; Г) 35%; Д) 40%.

399. Мошини ҳароратӣ ба гармигир 600 кҶ гармӣ медиҳад. Агар температураи гармидеҳ 127 °С ва температураи гармигир 27 °С бошад, миқдори гармии аз гармидеҳ гирифтаашро муайян намоед.

А) 1000 кҶ; Б) 960 кҶ; В) 750 кҶ; Г) 800 кҶ; Д) 1200 кҶ.

400. ККФ-и мошини ҳароратӣ 41%. Агар миқдори гармии меги-рифтааш ба 18% афзояду миқдори гармии ба гармигир медодааш 6% кам шавад, ККФ-и мошин чӣ қадар мешавад?

А) 37%; Б) 44%; В) 50%; Г) 57%; Д) 47 %.

401. Аз формулаҳои зерин кадоме ба энталпия дахл дорад?

А)  $H = U + PV$ ; Б)  $F = U - TS$ ; В)  $G = H - TS$ ;

Г)  $G = F + pV$ ; Д)  $TdS = dU + PdV$ .

402. Аз формулаҳои зерин кадоме ба энергияи озод мувофиқ аст?

А)  $H = U + PV$ ; Б)  $F = U - TS$ ; В)  $G = H - TS$ ;

Г)  $G = F + pV$ ; Д)  $TdS = dU + PdV$ .

403. Аз формулаҳои зерин кадоме ба функсияи термодинамикии Гибсс мансуб мебошад?

А)  $H = U + PV$ ; Б)  $F = U - TS$ ; В)  $G = H - TS$ ;

Г)  $Q = \Delta U + A$ ; Д)  $TdS = dU + PdV$ .

404. Шарти устуворӣ барои системае, ки ҳаҷм ва энтропияаш доимист, ёфта шавад.

А)  $dU < 0$ ; Б)  $dF < 0$ ; В)  $dG < 0$ ; Г)  $dH < 0$ ; Д)  $\delta Q < 0$ .

405. Шарти устуворӣ барои системае, ки фишор ва энтропияаш доимист, кадом аст?

А)  $dU < 0$ ; Б)  $dF < 0$ ; В)  $dG < 0$ ; Г)  $dH < 0$ ; Д)  $\delta Q < 0$ .

406. Шарти устуворӣ барои системае, ки фишор ва температурааш доимист, муқаррар карда шавад.

А)  $dU < 0$ ; Б)  $dF < 0$ ; В)  $dG < 0$ ; Г)  $dH < 0$ ; Д)  $\delta Q < 0$ .

407. Кадоме аз ифодаҳои зерин ба шарти устуворӣ барои системае, ки ҳаҷм ва температурааш доимист, мувофиқ меояд?

А)  $dU < 0$ ; Б)  $dF < 0$ ; В)  $dG < 0$ ; Г)  $dH < 0$ ; Д)  $\delta Q < 0$ .

408. Кадоме аз формулаҳои дар зер овардашуда ҳамчун муодилаи Клапейрон-Клаузиус доништа мешавад?

А)  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)}$ ; Б)  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - \epsilon) = RT$ ; В)  $L(T) = L_0 + (C_p - C_n)(T - T_0)$ ;

Г)  $(V - V_{кр})^3 = 0$ ; Д)  $U = C_V T - \frac{a}{V}$ .

409. Тавассути кадоме аз формулаҳои дар зер сабтшуда гармии хоси буғшавиро дар температураи дилхоҳ муайян кардан мумкин аст?

А)  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)}$ ; Б)  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - \epsilon) = RT$ ; В)  $L(T) = L_0 + (C_p - C_n)(T - T_0)$ ;

Г)  $(V - V_{кр})^3 = 0$ ; Д)  $U = C_V T - \frac{a}{V}$ .

410. Кадоме аз формулаҳои дар зер овардашуда муодилаи Ван-дер-Ваалс аст?

А)  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)}$ ; Б)  $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - \epsilon) = RT$ ; В)  $L(T) = L_0 + (C_p - C_n)(T - T_0)$ ;

Г)  $(V - V_{кр})^3 = 0$ ; Д)  $U = C_V T - \frac{a}{V}$ .

411. Энергияи дохилии як мол гази Ван-дер-Ваалсӣ бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

А)  $C_V T - \frac{a}{V_m}$  ; Б)  $C_V T + \frac{a}{V_m}$  ; В)  $T + aV_m$  ; Г)  $C_V T - aV_m$  ; Д)  $C_V T + \frac{V_m}{a}$ .

412. Зичии оксиген дар фишори 7 МПа 100 кг/м<sup>3</sup> мебошад. Газро реалӣ ҳисобида ( $a=0,136$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>,  $b=3,17 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/мол), температураи онро муайян кунед.

А) 350 К; **Б) 287 К**; В) 300 К; Г) 325 К; Д) 380К.

413. Гази туршии карбони массааш 88 г дар зарфи ҳаҷмаш 10 л ҷойгир аст. Фишори дохилии газро муқаррар намоед ( $a=0,361$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>).

**А) 14,4 кПа**; Б) 14,1 кПа; В) 11,4 кПа; Г) 10,4 кПа; Д) 24,4 кПа.

414. Гази туршии карбони массааш 88 г дар зарфи ҳаҷмаш 10 л ҷойгир аст. Ҳаҷми хусусии молекулаҳои газ чӣ қадар мебошад?  $b=4,28 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/мол.

А) 0,046 л; **Б) 0,085 л**; В) 0,064 л; Г) 0,027 л; Д) 0,069 л.

415. Нитрогени массааш 0,25 кг дар зарфи ҳаҷмаш 10 л ҷойгир аст. Ҳаҷми хусусии молекулаҳоро муайян кунед ( $a=0,137$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>;  $b=3,7 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/мол).

А) 180,5 см<sup>3</sup>; Б) 89,7 см<sup>3</sup>; В) 92,4 см<sup>3</sup>; Г) 37,8 см<sup>3</sup>; **Д) 82,5 см<sup>3</sup>**.

416. Дар зарфи ҳаҷмаш 10 л нитрогени массааш 0,25 кг ҷойгир аст. Фишори дохилии газро муқаррар намоед ( $a=0,137$  Па м<sup>6</sup>/мол<sup>2</sup>).

А) 100 кПа; **Б) 109 кПа**; В) 140 кПа; Г) 205 кПа; Д) 180 кПа.

417. Кадоме аз формулаҳои зерин ба энергияи дохилии гази реалӣ дахл дорад?

А)  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)}$ ; **Б)**  $(P + \frac{a}{V^2})(V - \epsilon) = RT$ ; **В)**  $L(T) = L_0 + (C_p - C_u)(T - T_0)$ ;

Г)  $(V - V_{кр})^3 = 0$ ; **Д)**  $U = C_V T - \frac{a}{V}$ .

418. Аз формулаҳои зерин кадоме эффекти дифференциалии Ҷоулу Томсонро ифода мекунад?

**А)**  $(\frac{\partial T}{\partial P})_H = \frac{1}{C_p} [T(\frac{\partial V}{\partial T})_P - V]$ ; **Б)**  $T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} (\frac{\partial T}{\partial P})_H dP$ ;

**В)**  $(\frac{\partial T}{\partial P})_H = \frac{1}{C_p} (\frac{2a}{RT} - \epsilon)$ ; **Г)**  $T_{инв} = \frac{2a}{R\epsilon}$ ; **Д)**  $T = \frac{2a}{R\epsilon} (1 - \frac{\epsilon}{V})$ .

419. Кадоме аз формулаҳои дар поён сабтёфта ҳамчун ифодаи эффекти интегралӣ Ҷоулу Томсон доништа мешавад?

**А)**  $(\frac{\partial T}{\partial P})_H = \frac{1}{C_p} [T(\frac{\partial V}{\partial T})_P - V]$ ; **Б)**  $T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} (\frac{\partial T}{\partial P})_H dP$ ;

**В)**  $(\frac{\partial T}{\partial P})_H = \frac{1}{C_p} (\frac{2a}{RT} - \epsilon)$ ; **Г)**  $T_{инв} = \frac{2a}{R\epsilon}$ ; **Д)**  $T = \frac{2a}{R\epsilon} (1 - \frac{\epsilon}{V})$ .

420. Аз формулаҳои зерин кадоме ифодаи эффекти дифференциалии Ҷоулу Томсон барои гази Ван-дер-Ваалсӣ мебошад?

$$\text{А) } \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_P} \left[ T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V \right]; \quad \text{Б) } T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H dP;$$

$$\text{В) } \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_P} \left( \frac{2a}{RT} - \epsilon \right); \quad \text{Г) } T_{\text{инв}} = \frac{2a}{R\epsilon}; \quad \text{Д) } T = \frac{2a}{R\epsilon} \left( 1 - \frac{\epsilon}{V} \right).$$

421. Кадоме аз формулаҳои зерин эффекти интегралӣи Ҷоулу Томсонро барои гази Ван-дер-Ваалсӣ ифода мекунад?

$$\text{А) } \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_P} \left[ T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V \right]; \quad \text{Б) } T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H dP;$$

$$\text{В) } \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_P} \left( \frac{2a}{RT} - \epsilon \right); \quad \text{Г) } T_{\text{инв}} = \frac{2a}{R\epsilon}; \quad \text{Д) } T = \frac{2a}{R\epsilon} \left( 1 - \frac{\epsilon}{V} \right).$$

422. Дар эффекти Ҷоулу Томсон кадом функсияи термодинамикӣ доимӣ мемонад?

А) Энтропия; Б) Энталпия; В) Энергияи озод;

Г) Потенсиали термодинамикии Гиббс; Д) Намедонам.

423. Дар зарф омехтаи газҳои нитроген, оксиген ва туршии карбон ҷойгиранд. Дар ин зарф чанд фаза мавҷуд аст?

А) 6; Б) 3; В) 2; Г) 1; Д) 0.

424. Дар зарф ях ва омехтаи газҳо (оксиген, аргон, гелий, гидроген) ҷойгиранд. Дар ин зарф чанд фаза мавҷуд аст?

А) 5; Б) 4; В) 2; Г) 1; Д) 3.

425. Дар зарф об ва омехтаи чор газ (нитроген, оксиген, неон ва аргон) ҷойгиранд. Дар ин зарф чанд фаза мавҷуд аст?

А) 5; Б) 4; В) 3; Г) 2; Д) 1.

426. Агар ду фаза дар мувозинатӣ бошанд, он гоҳ бузургии зерин якандоза аст:

А) зичӣ ва температура; Б) энтропияи хос; В) гармиғунҷоиши хос;

Г) ҳаҷм; Д) намедонам.

427. Оё оби температурааш 0 °С-и дар зарфи бесарпӯшбуда бухор мешавад?

А) Бухор мешавад. Бухоршавӣ дар ҳаргуна температура ба амал меояд;

Б) Бухор намешавад. Дар 0 °С ба як мубаддал мешавад;

В) Бухор намешавад. Об танҳо дар мавриди ҷӯшишаш ба буғ табдил меёбад;

Г) Бухор мешавад. Бухоршавии об дар температураи 36,6 °С мушоҳида карда мешавад;

Д) Бухор намешавад. Бухоршавии об дар мавриди аз 100 °С зиёд будани температура ба мушоҳида мерасад.

428. Барои 10 г оби температурааш 100 °С-ро ба буғи садградуса табдил додан чӣ қадар миқдори гармӣ зарур аст? Гармии хоси бухоршавии об 2,26 МҶ/кг мебошад.

А) 26кҶ; Б) 126 кҶ; В) 22,6 кҶ; Г) 2,26 кҶ; Д) 2,66 кҶ.

429. Фишори буғи сер ба кадом параметрҳо вобастагӣ дорад?

А) Температура; Б) Ҳаҷм; В) Температура ва ҳаҷм;

Г) Ба ягон параметр вобастагӣ надорад; Д) Шакли зарф.

430. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаи газро, ки аз 40 г аргон ва 28 г нитроген иборат аст, ёбед.

А) 0; Б) 1,4; В) 1,33; Г) 1,5; Д) 1,66.

431. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаи газро ёбед, ки аз 40 г гелий ва 20 г гидроден иборат аст.

А) 1; Б) 1,4; В) 1,33; Г) 1,5; Д) 1,66.

432. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаи газро, ки аз 2,0 г неон Ne ва 4,4 г окиси карбон CO таркиб ёфтааст, чанд мебошад?

А) 1; Б) 1,47; В) 1,4; Г) 1,66; Д) 1,33.

433. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаеро муқаррар намоед, ки 3,2 кг оксиген O<sub>2</sub> ва 4,4 кг гази туршии карбон CO<sub>2</sub> иборат аст.

А) 1,4; Б) 1,33; В) 1,67; Г) 1,36; Д) 1,5.

434. Нишондиҳандаи адиабатаи омехтаи газро, ки аз 7,0 г хлор Cl<sub>2</sub> ва 16 г метан NH<sub>4</sub> иборат аст, ёбед.

А) 1,33; Б) 1,67; В) 1,34; Г) 1,5; Д) 1,4.

435. Протсесе, ки ҳангоми доимӣ будани .... мегузарад, политропӣ меноманд.

А) температура; Б) фишор; В) ҳаҷм; Г) гармиғунҷоиш; Д) намедонам.

436. Кадоме аз ин таърифҳо ба қонуни сеюми термодинамика (теоремаи Нерст) дахл дорад ?

А) Микдори гармие, ки система қабул кардааст барои тағйир додани энергияи дохилии он ва иҷрои кор сарф мешавад.

Б) Новобаста ба ҳолати ибтидоии системаи маҳдуд дар интиҳо мувозинатии термодинамикӣ дар он барқарор мешавад, ки дар ҳама қисмҳои он температура якандоза аст.

В) Афзоиши энтропия дар сифри мутлақ ба ҳудуди охиринок майл мекунад, ки ба дар қадом ҳолати мувозинатӣ будани он вобаста нест.

Г) Протсеси даврие, ки ягона натиҷааш иҷрои кор аз ҳисоби сардшавии манбаи гармӣ чараён гирад, номумкин аст. Д) Намедонам.

437. Тағйироти энтропияи  $\Delta S$  як мол гази идеалӣ ҳангоми адиабатӣ дар холигӣ аз ҳаҷми  $V_1$  то ҳаҷми  $V_2$  васеъ шуданаш, чӣ қадар аст?

А)  $\Delta S = 0$ ; Б)  $\Delta S = R \cdot \ln(V_2/V_1)$ ; В)  $\Delta S = R \cdot \ln(V_1/V_2)$ ;

Г)  $\Delta S = R \cdot V_2/V_1$ ; Д) намедонам.

438. Бо кадоме аз формулаҳои овардашуда қимати миёнаи дарозии дави озоди молекуларо ҳисоб кардан мумкин аст?

А)  $\langle \ell \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$ ; Б)  $\langle z \rangle = \frac{2}{3} \langle \ell \rangle$ ; В)  $v = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \ell \rangle$ ;

Г)  $v' = \frac{1}{4} n \langle \ell \rangle$ ; Д)  $v_{\text{нурра}} = \frac{n v}{2}$ .

439. Бо кадоме аз формулаҳои зерин басомади бархӯрди молекулаҳо ҳисоб кардан мумкин аст?



$$\text{А) } \langle \ell \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}; \quad \text{Б) } \langle z \rangle = \frac{2}{3} \langle \ell \rangle; \quad \text{В) } v = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \vartheta \rangle;$$

$$\text{Г) } v' = \frac{1}{4} n \langle \vartheta \rangle; \quad \text{Д) } v_{\text{нурра}} = \frac{nv}{2}.$$

440. Бо кадоме аз формулаҳои дар зер сабтёфта сели молекулаҳоеро, ки аз сатҳи муайян мегузаранд, ҳисоб кардан мумкин аст?

$$\text{А) } \langle \ell \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}; \quad \text{Б) } \langle z \rangle = \frac{2}{3} \langle \ell \rangle; \quad \text{В) } v = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \vartheta \rangle;$$

$$\text{Г) } v' = \frac{1}{4} n \langle \vartheta \rangle; \quad \text{Д) } v_{\text{нурра}} = \frac{nv}{2};$$

441. Бо кадоме аз формулаҳои овардашуда қимати миёнаи дарозии дави озоди молекулаҳо баъди бархӯрди охирин ҳисоб кардан мумкин аст?

$$\text{А) } \langle \ell \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}; \quad \text{Б) } \langle z \rangle = \frac{2}{3} \langle \ell \rangle; \quad \text{В) } v = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \vartheta \rangle;$$

$$\text{Г) } v' = \frac{1}{4} n \langle \vartheta \rangle; \quad \text{Д) } v_{\text{нурра}} = \frac{nv}{2}.$$

442. Бо кадоме аз формулаҳои зерин басомади бархӯрди молекулаҳо дар  $1\text{ м}^3$  ҳисоб кардан мумкин аст?

$$\text{А) } \langle \ell \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}; \quad \text{Б) } \langle z \rangle = \frac{2}{3} \langle \ell \rangle; \quad \text{В) } v = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \vartheta \rangle;$$

$$\text{Г) } v' = \frac{1}{4} n \langle \vartheta \rangle; \quad \text{Д) } v_{\text{нурра}} = \frac{nv}{2}.$$

443. Кадоме аз формулаҳои зер муодилаи умумии ҳодисаҳои интиқол аст?

$$\text{А) } I_g = -\frac{1}{3} n \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial G}{\partial x}; \quad \text{Б) } I_g = -\frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle C_v \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$\text{В) } I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \text{Г) } I_{n1} = -\frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial n_1}{\partial x};$$

$$\text{Д) } I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}.$$

444. Кадоме аз формулаҳои дар поён сабтёфта муодилаи гармигузаронии газ аст?

$$\text{А) } I_g = -\frac{1}{3} n \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial G}{\partial x}; \quad \text{Б) } I_g = -\frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle C_v \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$\text{В) } I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \text{Г) } I_{n1} = -\frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial n_1}{\partial x};$$

$$\text{Д) } I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}.$$

445. Аз формулаҳои зерин кадоме муодилаи часпаки (соиши дохилӣ)-и газ мебошад?

$$\text{А) } I_g = -\frac{1}{3} n \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial G}{\partial x}; \quad \text{Б) } I_g = -\frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle \ell \rangle C_v \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$\text{В)} I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \text{Г)} I_{n1} = -\frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial n_1}{\partial x};$$

$$\text{Д)} I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}.$$

446. Аз формулаҳои зерин кадоме муодилаи худдиффузияи газ аст?

$$\text{А)} I_g = -\frac{1}{3} n \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial G}{\partial x}; \quad \text{Б)} I_g = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$\text{В)} I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \text{Г)} I_{n1} = -\frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial n_1}{\partial x};$$

$$\text{Д)} I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}.$$

447. Кадоме аз формулаҳои дар поён сабтёфта муодилаи диффузияи ҳамдигарии газҳо доништа мешавад?

$$\text{А)} I_g = -\frac{1}{3} n \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial G}{\partial x}; \quad \text{Б)} I_g = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$\text{В)} I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \text{Г)} I_{n1} = -\frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle \frac{\partial n_1}{\partial x};$$

$$\text{Д)} I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}.$$

448. Аз формулаҳои зерин кадоме муодилаи коэффисиенти гармигузаронии газ аст?

$$\text{А)} \lambda = \frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v; \quad \text{Б)} \eta = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle; \quad \text{В)} D = \frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle;$$

$$\text{Г)} \lambda = \eta C_v; \quad \text{Д)} D = \eta / \rho = \frac{\lambda}{C_v \rho}.$$

449. Кадоме аз формулаҳои дар поён сабтёфта муодилаи коэффисиенти часпакии газ доништа мешавад?

$$\text{А)} \lambda = \frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v; \quad \text{Б)} \eta = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle; \quad \text{В)} D = \frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle;$$

$$\text{Г)} \lambda = \eta C_v; \quad \text{Д)} D = \eta / \rho = \frac{\lambda}{C_v \rho}.$$

450. Дар поён чанд формула оварда шудаанд. Кадоме муодилаи коэффисиенти диффузияи газ аст?

$$\text{А)} \lambda = \frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v; \quad \text{Б)} \eta = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle; \quad \text{В)} D = \frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle;$$

$$\text{Г)} \lambda = \eta C_v; \quad \text{Д)} D = \eta / \rho = \frac{\lambda}{C_v \rho}.$$

451. Кадоме аз формулаҳои зерин вобастагии коэффисиентҳои гармигузаронӣ, часпакӣ ва диффузияро ифода мекунад?

$$\text{А)} \lambda = \frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle C_v; \quad \text{Б)} \eta = -\frac{1}{3} \rho \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle; \quad \text{В)} D = \frac{1}{3} \langle \mathcal{G} \rangle \langle \ell \rangle;$$

$$\text{Г)} \lambda = \eta C_v; \quad \text{Д)} D = \eta / \rho = \chi / (C_v \rho).$$



452. Агар дар температураи доимӣ фишори газро 2 маротиба баланд бардорем, қимати миёнаи дарозии дави озоди молекула чӣ гуна тағйир меёбад?

- А) 2 маротиба зиёд; Б) 2 маротиба кам мешавад; В) тағйир намеёбад;  
Г) 4 маротиба меафзояд; Д) 4 маротиба кам мешавад.

453. Агар дар фишори доимӣ температураи газро 2 маротиба зиёд намоем, қимати миёнаи дарозии дави озоди молекула чӣ қадар тағйир меёбад?

- А) 2 маротиба зиёд; Б) 2 маротиба кам; В) тағйир намеёбад;  
Г) 4 маротиба зиёд; Д) 4 маротиба кам мешавад.

454. Агар коэффисиенти часпакии гидроген 8,6 мкПа с бошад, коэффисиенти гармигузарониашро муайян кунед.

- А) 23,12 мВт/(м К); Б) 80,03 мВт/(м К); В) 40,25 мВт/(м К);  
Г) 89,33 мВт/(м К); Д) 19,55 мВт/(м К).

455. Дар зарфи ҳаҷмаш 2 л ба қадри  $4 \cdot 10^{22}$  молекулаи газ дуатома ҷойгир аст. Коэффисиенти гармигузаронии газ 14 мВт/(м К). Коэффисиенти диффузияи газ чӣ қадар мебошад?

- А)  $2,84 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $2,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $3,12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  
Г)  $1,01 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $2,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

456. Коэффисиенти диффузияи гелиро дар шароити нормалӣ муқаррар намоед.

- А)  $7,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $9,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $7,80 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  
Г)  $8,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $7,16 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

457. Агар коэффисиенти диффузияи нитроген дар шароити нормалӣ  $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  бошад, часпакиаш чӣ қадар аст?

- А) 20,7 мкПа с; Б) 9,8 мкПа с; В) 1,5 мкПа с; Г) 7,9 мкПа с; Д) 17,8 мкПа с.

458. Молекулаи оксиген дар воҳиди вақт чанд маротиба бармехӯрад, агар дарозии миёнаи дави озоди молекула дар шароити нормалӣ 65 нм бошад?

- А)  $0,71 \cdot 10^9$ ; Б)  $71 \cdot 10^9$ ; В)  $7,1 \cdot 10^8$ ; Г)  $7,1 \cdot 10^9$ ; Д)  $7,1 \cdot 10^7$ .

459. Агар дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳои гидроген дар шароити нормалӣ 0,16 мкм бошад, коэффисиенти диффузияшро муқаррар намоед.

- А)  $7,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $9,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  
Г)  $8,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $7,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

460. Коэффисиенти соиши дохилии нитроген дар температураи 300 К ва фишори 0,1 МПа чӣ қадар аст?

- А)  $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ ; Б)  $3,1 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ ; В)  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ ;  
Г)  $7,4 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ ; Д)  $9,3 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ .

461. Коэффисиенти диффузияи гелиро дар шароити нормалӣ ҳисоб кунед. Диаметри эффективии молекулаи нитрогенро баробар ба 0,2 нм қабул намоед.

- А)  $6,24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $8,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $1,52 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  
Г)  $7,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $9,13 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

462. Дарозии миёнаи дави озоди молекулаи гидроген дар температураи  $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$  ва фишори  $0,133\text{ Па}$  чӣ қадар мебошад?

А)  $4\text{ см}$ ; Б)  $6,05\text{ см}$ ; В)  $4,42\text{ см}$ ; Г)  $8,5\text{ см}$ ; Д)  $9,25\text{ см}$ .

463. Дарозии миёнаи дави озоди атомҳои гелий дар шароити нормалӣ  $1,8 \cdot 10^{-7}\text{ см}$  аст. Коэффисиенти диффузияро ҳисоб кунед.

А)  $2,4 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $6,5 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $9,7 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ ;  
Г)  $1 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $7,2 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ .

464. Коэффисиенти диффузияи гидроген дар шароити нормалӣ  $9,1 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$  мебошад. Коэффисиенти гармигузаронии гидрогенро ёбед.

А)  $15\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Б)  $12\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; В)  $21\text{ мВт}/(\text{м К})$ ;  
Г)  $17\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Д)  $25\text{ мВт}/(\text{м К})$ .

465. Дар температураҳои баробар часпакии оксиген назар ба часпакии нитроген чанд маротиба зиёд аст?

А)  $2,1$ ; Б)  $1,07$ ; С)  $1,41$ ; Г)  $1,33$ ; Е)  $1,66$ .

466. Коэффисиенти гармигузаронии гидрогенро дар шароите ёбед, ки агар часпакии он ба  $\eta = 8,6\text{ мкПа}$  с баробар бошад.

А)  $89,33\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Б)  $30\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; В)  $40\text{ мВт}/(\text{м К})$ ;  
Г)  $60\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Д)  $80\text{ мВт}/(\text{м К})$ .

467. Дар ҳамон як температура часпакии оксиген назар ба часпакии гидроген чанд маротиба зиёд аст?

А)  $2,5$ ; Б)  $4,25$ ; В)  $4,00$ ; Г)  $4,5$ ; Д)  $4,35$ .

468. Агар часпакии нитроген  $17,8\text{ мкПа}$  с бошад, коэффисиенти гармигузаронии он чӣ қадар аст?

А)  $13,2\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Б)  $8,9\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; В)  $78,2\text{ мВт}/(\text{м К})$ ;  
Г)  $1,8\text{ мВт}/(\text{м К})$ ; Д)  $3,8\text{ мВт}/(\text{м К})$ .

469. Дар ҳамон як температура коэффисиенти гармигузаронӣ ба фишор чӣ гуна вобаста аст?

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;  
Г) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби роста;  
Д) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби чаппа.

470. Дар фишори доимӣ коэффисиенти гармигузаронӣ ба температура чӣ гуна вобастагӣ зоҳир менамояд?

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;  
Г) ба решаи квадратӣ аз температура мутаносиби роста;  
Д) ба решаи квадратӣ аз температура мутаносиби чаппа.

471. Дар ҳамон як температура коэффисиенти часпакӣ ба фишор чӣ гуна вобаста аст?

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;  
Г) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби роста;  
Д) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби чаппа.

472. Дар фишори доимӣ вобастагии коэффисиенти часпакӣ ба температура чӣ гуна мебошад?

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;  
Г) ба решаи квадратӣ аз температура мутаносиби роста;

Д) ба решаи квадратӣ аз температура мутаносиби чаппа.

473. Коэффисиенти диффузияи гидроген дар шароити нормалӣ дар ҳоли дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо 0,16 мкм будан чӣ қадар аст?

А)  $8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Б)  $9,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; В)  $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

Г)  $7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; Д)  $6,06 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

474. Дар температураи доимӣ коэффисиенти диффузия ба фишор чӣ гуна вобастагӣ доштанаширо муқаррар намоед.

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;

Г) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби роста;

Д) ба решаи квадратӣ аз фишор мутаносиби чаппа.

475. Дар фишори доимӣ коэффисиенти диффузия ба температура чӣ гуна вобаста аст?

А) мутаносиби роста; Б) мутаносиби чаппа; В) вобаста нест;

Г) ба дараҷаи  $3/2$ -и температура мутаносиби роста;

Д) ба дараҷаи  $3/2$ -и температура мутаносиби чаппа.

476. Ҳангоми изотермӣ 3 маротиба афзудани ҳаҷми ишғолкардаи газ дарозии миёнаи дави озоди молекула чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

477. Мавриди изотермӣ 3 маротиба кам шудани зичии газ дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

478. Ҳангоми изотермӣ 3 маротиба афзудани фишори газ дарозии миёнаи дави озоди молекула чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

479. Дар ҳоли изотермӣ 3 маротиба афзудани ҳаҷми ишғолкардаи газ коэффисиенти диффузияи молекулаҳои он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

480. Мавриди изотермӣ 3 маротиба кам шудани зичии газ коэффисиенти диффузияи молекулаҳои он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

481. Дар ҳоли изотермӣ 3 маротиба афзудани фишори газ коэффисиенти диффузияи молекулаҳои он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

482. Мавриди изохорӣ 2 маротиба баланд шудани температураи газ коэффисиенти диффузияи молекулаҳои он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 1,41 маротиба меафзояд; Б) 2 маротиба меафзояд; В) 1,41 маротиба кам мешавад; Г) 2 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

483. Ҳангоми изобарӣ 2 маротиба баланд шудани температураи газ коэффисиенти диффузияи молекулаҳои он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба меафзояд; Б) 2,5 маротиба меафзояд; В) 2,82 маротиба кам мешавад; Г) 2 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

484. Дар ҳоли изохорӣ 2 маротиба паст шудани температураи газ коэффисиенти часпакии молекулаҳои он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба меафзояд; Б) 1,41 маротиба меафзояд; В) 1,41 маротиба кам мешавад; Г) 2 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

485. Мавриди изобарӣ 2 маротиба паст шудани температураи газ коэффисиенти часпакии молекулаҳои он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба меафзояд; Б) 2,82 маротиба меафзояд; В) 2,82 маротиба кам мешавад; Г) 2 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

486. Ҳангоми изотермӣ 3 маротиба афзудани ҳаҷми ишғолкардаи газ коэффисиенти часпакии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

487. Дар ҳоли изотермӣ 3 маротиба кам шудани зичии газ коэффисиенти часпакии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

488. Мавриди изотермӣ 3 маротиба афзудани фишори газ коэффисиенти часпакии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

489. Ҳангоми изохорӣ 4 маротиба паст шудани температураи газ коэффисиенти гармигузаронии он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба меафзояд; Б) 1,41 маротиба меафзояд; В) 2 маротиба кам мешавад; Г) 1,41 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

490. Дар ҳоли изобарӣ 2 маротиба баланд шудани температураи газ коэффисиенти гармигузаронии он чанд маротиба ва чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба меафзояд; Б) 1,41 маротиба меафзояд; В) 2 маротиба кам мешавад; Г) 1,41 маротиба кам мешавад; Д) тағйир намеёбад.

491. Агар ҳаҷми газ 3 маротиба афзояд, коэффисиенти гармигузаронии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

492. Мавриди изотермӣ 3 маротиба кам шудани зичии газ коэффисиенти гармигузаронии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

493. Дар ҳоли изотермӣ 3 маротиба афзудани фишори газ коэффисиенти гармигузаронии он чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад?

А) 3 маротиба кам мешавад; Б) 3 маротиба зиёд мешавад; В) 1,71 маротиба кам мешавад; Г) 1,71 маротиба зиёд мешавад; Д) тағйир намеёбад.

494. Адади миёнаи молекулаҳои  $N$ , ки дар воҳиди вақт ба сатҳи воҳидии зарф бармеҳӯранд, ёфта шавад ( $n$  – адади молекулаҳо дар воҳиди ҳаҷм,  $\langle v \rangle$  – қимати миёнаи арифметикии суръати молекулаҳо).

А)  $N = n \langle v \rangle / 6$ ; Б)  $N = n \langle v \rangle / 4$ ; В)  $N = n \langle v \rangle$ ;

Г)  $N = 3n \langle v \rangle / 2$ ; Д) намедонам.

495. Часпакӣ вобаста аст ба интиқоли ..... молекулаҳои газ

А) Масса; Б) Энергия; В) Импулс; Г) Моменти импулс; Д) Намедонам.

496. Дар зарф як микдор гази идеалӣ дар фишори доимӣ ҷойгир аст. Адади барҳӯрди молекулаҳои газ дар воҳиди вақт ба девори зарф ба температура  $T$  чӣ тавр вобаста аст?

А)  $N \sim 1/T$ ; Б)  $N \sim \sqrt{T}$ ; В)  $N \sim 1/\sqrt{T}$ ; Г)  $N \sim T$ ; Д) Вобаста нест.

497. Дар шароити якхела коэффисиенти гармигузаронии гидроген назар ба коэффисиенти гармигузаронии оксиген чанд маротиба зиёд мебошад?

А) 3; Б) 4; В) 2; Г) 5; Д) 6.

498. Дар ҳамон як шароит коэффисиенти часпакии гидроген назар ба коэффисиенти часпакии оксиген чанд маротиба кам аст?

А) 4; Б) 5; В) 6; Г) 7; Д) 8.

499. Дар шароити якхела коэффисиенти диффузияи гидроген назар ба коэффисиенти диффузияи оксиген чанд маротиба зиёд аст?

А) 2; Б) 1,4; В) 3; Г) 5; Д) 4.

500. Кадоме аз муодилаҳои овардашуда протсеси гармигузарониро ифода мекунад?

А)  $Q = -\lambda \frac{dT}{dz} S \tau$ ; Б)  $m = -D \frac{dn}{dz} S \tau$ ;

В)  $F = \eta \left| \frac{dV}{dz} \right| S$ ; Г)  $P = -\eta \frac{dV}{dz} S \tau$ ; Д)  $U = \frac{m}{M} C_v T$ .

501. Барои кам кардани гармигузаронии колбаи термос (зарфи Дюар) аз он ҳавояшро мекашанд. Гармигузаронии қабати ҳавои байни деворҳои дуқабатаи колба бо формулаи  $\chi = nm \langle v \rangle C_v \lambda / 3$  муайян карда мешавад.



Гармигузаронии ҳаво ба фишор чӣ гуна вобастааст, агар ҳаворо каме кашида бошанд, яъне фишораш ба фишори атмосферӣ наздик бошад?

А)  $\chi = \text{const}$ ; Б)  $\chi \sim P^2$ ; В)  $\chi \sim \sqrt{P}$ ; Г)  $\chi \sim P$ ; Д) Намедонам.

502. Аз ифодаҳои зер кадом ба муодилаи Ван-дер-Ваалс барои бузургҳои овардашуда рост меояд?

А)  $P_k V_k / RT_k = 3/8$ ; Б)  $(P_0 + 3/V_0^2)(3V_0 - 1) = 8T_0$ ; В)  $V_k = 3b$ ;  
Г)  $P_k = a/(27b^2)$ ; Д)  $T_k = 8a/(27Rb)$ .

503. Формулаеро нишон диҳед, ки тавассути он баландии болобароӣ (ё худ поёнфуруӣ)-и моеъро дар капиларҳо муайян менамоянд:

А)  $h = \frac{\varepsilon}{\nu}$ ; Б)  $h = \frac{W_p}{mg}$ ; В)  $h = \frac{P}{\rho g}$ ; Г)  $h = \frac{\varepsilon \lambda}{c}$ ; Д)  $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ .

504. Ҳодисаҳои капиларӣ асосан бо таъсири кадом қувваҳо шарҳ меёбад?

А) вазнинӣ; Б) соиш; В) гравитатсионӣ;  
Г) байнимолекулавӣ; Д) магнитӣ.

505. Ҳангоми 2 маротиба хурд шудани диаметри капилар баландии болобароии моеъ чӣ гуна тағйир меёбад?

А) 2 маротиба поёнтар; Б) 2 маротиба баландтар; В) тағйир намеёбад; Г) 4 маротиба поёнтар; Д) 4 маротиба баландтар мешавад.

506. Массайи оби бо найчаи капиларии диаметраш 0,5 мм болобаромадаро ёбед (коэффисиенти кашиши сатҳии об  $73 \cdot 10^{-3}$  Н/м).

А) 23 мг; Б) 35,4 мг; В) 11,7 мг; Г) 22 мг; Д) 25 мг.

507. Найчаҳои капиларии пайвастаи диаметрашон гуногунро бо об пур карданд. Ҳангоми гарм кардани об фарқи баландиҳои оби найчаҳо чӣ тавр тағйир меёбад?

А) кам; Б) зиёд мешавад; В) тағйир намеёбад;  
Г) баландиҳо баробар мешаванд; Д) ба гармӣ вобаста нест.

508. Дар найчаи капиларӣ спирт ба баландии 55 мм об ба баландии 44 мм баромад. Аз ин маълумот зичии спиртро муайян кунед.

А) 1000 кг/м<sup>3</sup>; Б) 440 кг/м<sup>3</sup>; В) 146 кг/м<sup>3</sup>; Г) 550 кг/м<sup>3</sup>; Д) 800 кг/м<sup>3</sup>.

509. Барои муайян кардани коэффисиенти кашиши сатҳии об чакраре-зи диаметри сӯроҳии поёнаш 2 мм-ро истифода намуданд. Массайи 40 чакра об 1,9 г шуд. Мувофиқи ин маълумот қимати коэффисиенти кашиши сатҳии об чӣ қадар буданахро ёбед.

А) 0,74 Н/м; Б) 0,0074 Н/м; В) 1,9 Н/м; Г) 0,074 Н/м; Д) 0,19 Н/м.

510. Глитсерин дар найчаи капиларӣ ба баландии 20 мм баромад. Диаметри дохилии найча 1 мм буданахро доништа коэффисиенти кашиши сатҳии глитсеринро муайян намоед.

А) 0,062 Н/м; Б) 0,0062 Н/м; В) 6,2 Н/м; Г) 0,62 Н/м; Д) 0,31 Н/м.

511. Бензол дар капиларе, ки диаметри дохилиаш 0,4 мм аст, ба кадом баландӣ мебарояд? Таршавиро пурра ҳисобед.

А) 3.8 см; Б) 3.2 см; В) 3.4 см; Г) 2.8 см; Д) 2.6 см.

512. Фишори иловагиеро, ки аз ҳисоби кашиши сатҳӣ дар қатраи радиусаш 2 мкм-и абр ба вучуд меояд, ҳисоб кунед.

А) 67 кПа; Б) 80 кПа; В) 73 кПа; Г) 84 кПа; Д) 60 кПа.

513. Барои муайян намудани коэффисиенти кашиши сатҳӣ чакрачаконаки диаметри сӯрохии баромадаш 2 мм-ро истифода бурданд. Маълум шуд, ки массаи 40 қатра 1,9 г-ро ташкил мекунад. Аз ин натиҷа коэффисиенти кашиши сатҳӣ чӣ қадар мешавад?

А) 74 мН/м; Б) 73 мН/м; В) 72 мН/м; Г) 71 мН/м; Д) 70 мН/м.

514. Аз чакрачаконак аввал 40 чакраи массаашон баробари оби сард-температурааш 8 °С ва баъд 48 чакраи гарми температурааш 80 °С чаконданд. Коэффисиенти кашиши сатҳии об чанд маротиба тағйир ёфт?

А) 4; Б) 1.44; В) 2.4; Г) 1.2; Д) 1.4.

515. Дар найчаи капиларии радиусаш 0,5 мм моеъ ба баландии 11 мм баромад. Зичии ин моеъро муайян кунед, агар коэффисиенти кашиши сатҳиаш 22 мН/м бошад.

А) 800 кг/м<sup>3</sup>; Б) 820 кг/м<sup>3</sup>; В) 840 кг/м<sup>3</sup>; Г) 860 кг/м<sup>3</sup>; Д) 900 кг/м<sup>3</sup>.

516. Фишорро дар дохили хубобчаи диаметраш 4 мкм-и хаворо, ки дар чуқурии 5 м дар об чойгир аст, муайян намоед. Фишори атмосферӣ нормалӣ аст.

А) 1.6 атм; Б) 1.2 атм; В) 2.2 атм; Г) 1.8 атм; Д) 2.4 атм.

517. Диаметри найчаи барометри симобӣ 3 мм аст. Агар поёнфурии капилариро ба назар гирем, ба нишондоди барометр чӣ қадар ислоҳ даровардан лозим мешавад? Коэффисиенти кашиши сатҳии симоб 510 Н/м.

А) 1.2 мм; Б) 2.4 мм; В) 3.6 мм; Г) 4.8 мм; Д) 5 мм.

518. Ҳангоми қатраҳои майдаи радиусашон  $2 \cdot 10^{-3}$  мм-и об ба як қатраи калони радиусаш 2 мм мубаддал шудан чӣ қадар энергия хориҷ мешавад?

А) 2.88 мҶ; Б) 3.67 мҶ; В) 4.12 мҶ; Г) 5.46 мҶ; Д) 5.99 мҶ.

519. Дар мобайни пластинаҳои паралелӣ, ки дар масофаи 0,2 мм чойгиранд, об чӣ қадар боло мебарояд?

А) 2.4 см; Б) 3.5 см; В) 4.1 см; Г) 6.9 см; Д) 5.2 см.

520. Дар шаҳр ҳангоми борони сел дар майдони 400 км<sup>2</sup> дар тӯли 10 дақиқа 20 мм об рехт. Тавоноии гармии хориҷгардидаро ҳангоми якҷояшавии қатраҳои майдаи радиусашон  $3 \cdot 10^{-3}$  мм ба қатраи калони радиусаш 3 мм муайян кунед.

А)  $1.65 \cdot 10^9$  Вт; Б)  $1.48 \cdot 10^9$  Вт; В)  $1.74 \cdot 10^9$  Вт; Г)  $1.87 \cdot 10^9$  Вт; Д)  $1.97 \cdot 10^9$  Вт.

521. Ҳангоми андозагирии кашиши сатҳӣ спирт дар найчаи капиларии диаметри сурохиаш 0,15 мм ба 7,6 см боло баромад. Мувофиқи натиҷаи таҷриба кашиши сатҳии спирт чӣ қадар будааст? Зичии спирт 800 кг/м<sup>3</sup>.

А) 25 мН/м; Б) 27 мН/м; В) 22,8 мН/м; Г) 27,5 мН/м; Д) 23,5 мН/м.

522. Фишори иловагӣ дар дохили ҳубобчаи собунии радиусаш  $R$  чӣ қадар аст, агар кашиши сатҳии маҳлули собун  $\sigma$  бошад?

А)  $\sigma/R$ ; Б)  $2\sigma/R$ ; В)  $4\sigma/R$ ; Г)  $4\pi\sigma R^2$ ; Д) наметоднам.

523. Коэффисиенти соиши дохилии моеъҳо бо баландшавии температура чӣ тағйир меёбад?

А) меафзояд; Б) кам мешавад; В) тағйир намеёбад; Г) часпакии моеъҳо ба температура вобаста нест; Д) часпакии моеъҳо чун дар газҳо ба температура вобаста аст.

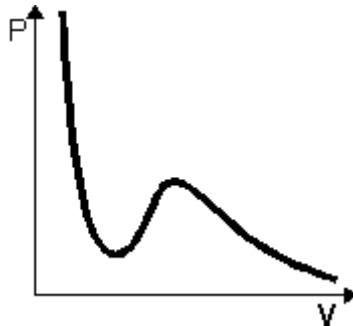
524. Коэффисиенти диффузияи гидрогенро дар шароити нормалӣ муайян кунед, агар дарозии миёнаи дави озодаш  $1,6 \cdot 10^{-7}$  м бошад.

А)  $9,4 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с; Б)  $9,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с; В)  $9,8 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с; Г)  $8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с; Д)  $500$  м<sup>2</sup>/с.

525. Аз зарфе, ки дар он микдори ками об дар  $0^\circ\text{C}$  ҷойгир аст, ҳавояшро тез кашида обро ба ях табдил додан мумкин. Қадом ҳиссаи оби дар ибтидо бударо дар  $0^\circ\text{C}$  ба ях мубаддал кардан мумкин аст? Гармии хоси буғшавӣ дар  $0^\circ\text{C}$ :  $L = 2,3$  МҶ/кг.

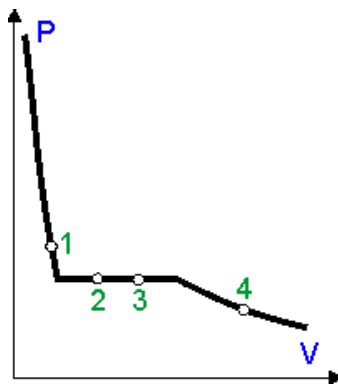
А) 0.6; Б) 0.3; В) 0.7; Г) 0.2; Д) 0.8.

526. Дар расм тасвир ёфтааст:



А) изотермаи гази Ван-дер-Ваалс; Б) изотермаи гази дуатомаи идеалӣ; В) қачии буғшавӣ; Г) қачии инверсияи эффекти дифференсиалии Ҷоулу Томсон; Д) изотермаи гази реалӣ.

527. Дар расм изотермаи конденсатсияшавии буғҳои об тасвир ёфтааст. Дар қадом нуқта массаи моеъ назар ба массаи буғ 2 маротиба зиёд аст?



А) Нуқтаи 1; Б) Нуқтаи 2; В) Нуқтаи 3; Г) Нуқтаи 4; Д) наметоднам.

528. Ба ҷойники хуштокдор 1 кг об рехта болои плитка (манқал)-и таъвоноиаш 900 Вт гузоштанд. Баъди 7 дақиқа хушток шунида шуд. Агар ҷой-



никро нагирем, баъди 2 дақиқаи дигар чӯшидан дар он чӣ қадар об боқӣ мемонад? Температураи ибтидоии об  $20\text{ }^\circ\text{C}$  мебошад.

А) 0.86 кг; Б) 0.80 кг; В) 0.88 кг; Г) 0.78 кг; Д) 0.96 кг.

529. Қадоме аз муодилаҳои дар поён овардашуда вобастагии фишори буғи серро ба температура ифода мекунад ( $a, b$  – доимҳои гази ван-дер-ваалсӣ,  $q$ -гармии хоси буғшавӣ,  $v_1, v_2$ – ҳаҷмҳои хоси об ва буғ)?

А)  $\Delta P = C_p \Delta T / (2a/RT - b)$ ; Б)  $\Delta P = q \Delta T / T(v_1 - v_2)$ ; В)  $\Delta P = R \Delta T / (V - b)$ ; Г)  $\Delta P = R \Delta T / V$ ; Д) Намедонам.

530. Об аз баландии 1200 м меафтад. Агар 60%-и қори қувваи вазнинӣ барои гарм кардани он сарф шавад, температураи он чӣ қадар баланд мебарояд?

А)  $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ ; Б)  $0.17\text{ }^\circ\text{C}$ ; В)  $1.7\text{ }^\circ\text{C}$ ; Г)  $0.14\text{ }^\circ\text{C}$ ; Д)  $4\text{ }^\circ\text{C}$ .

531. Ба яхдони тавоноии 200 Вт истеъмолкунанда 2 кг оби температурааш  $20\text{ }^\circ\text{C}$ -ро гузоштанд. Баъди 30 дақиқа ҳамаи об ба ях мубаддал шуд. Чӣ қадар миқдори гармӣ ба ҳавои хона гузашт?

А) 1250 Ҷ; Б) 1200 Ҷ; В) 1500 Ҷ; Г) 4200 Ҷ; Д) 5500 Ҷ.

532. Ҳангоми гарм кардани метале аз  $0\text{ }^\circ\text{C}$  то  $500\text{ }^\circ\text{C}$  зичии он 1,027 маротиба кам шуд. Барои ин металл коэффициентҳои васеъшавии ҳаттиро муайян намоед. Дар ин ҳудуди температура онро доимӣ ҳисобед.

А)  $1.8 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ ; Б)  $1.6 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ ; В)  $1.4 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ ; Г)  $1.2 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ ; Д)  $1.5 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ .

533. Барои ба  $1^\circ\text{C}$  тағйир додани температураи 2 кг алюминий 1900 Ҷ энергия додан зарур аст. Гармиғунҷоиши ин модда чӣ қадар мебошад?

А) 1900 Ҷ/(кг К); Б) 95 Ҷ/(кг К); В) 950 Ҷ/(кг К); Г) 380 Ҷ/(кг К); Д) 900 Ҷ/(кг К).

534. Барои температураи 1 кг мисро ба як градус баланд кардан 430 Ҷ гармӣ додан лозим мешавад. Гармиғунҷоиши хоси мис чӣ қадар аст?

А) 860 Ҷ/(кг К); Б) 430 Ҷ/(кг К); В) 43 Ҷ/(кг К); Г) 4300 Ҷ/(кг К); Д) 90 Ҷ/(кг К).

535. Қонуни Дюлонг ва Птиро истифода бурда муайян намоед, ки гармиғунҷоиши хоси оҳан назар ба гармиғунҷоиши хоси тилло чанд маротиба зиёд аст?

А) 1,50 маротиба; Б) 2,52 маротиба; В) 4,55 маротиба; Г) 5,50 маротиба; Д) 3,52 маротиба.

536. Гармиғунҷоиши молии қисми саҳт (мувофиқи қонуни Дюлонг-Пти) чӣ қадар аст?

А) 1,5 R; Б) 5R; В) 3R; Г) R; Д) 2R.

537. Мувофиқи назарияи Дебай дар температураҳои ба сифри мутлақ наздик гармиғунҷоиши қисми саҳт чӣ гуна рафтор мекунад?

А) ба температура вобаста нест; ба Б)  $T^2$ ; В)  $T$ ; Г)  $T^4$ ; Д)  $T^3$  мутаносибан тағйир меёбад;

538. Аз баландии якандоза ду ҷисми массаҳояшон баробар – яке мисин ( $C = 395 \text{ Ҷ/кг К}$ ) дигаре оҳанин ( $C = 500 \text{ Ҷ/кг К}$ ) афтиданд. Дар натиҷаи зарба ба таҳмон кадоме аз онҳо то температураи баландтар гарм мешавад?

А) мисин; Б) оҳанин; В) якхела; Г) гарм намешаванд; Д) намедонам.

539. Мошини боркаши массааш 30 т, ки бо суръати 72 км/ст ҳаракат мекард, бо тормозҳо нигоҳ дошта шуд. Ҳангоми тормоздихӣ чӣ қадар миқдори гармӣ ҷудо шудааст?

А) 8 МҶ; Б) 4 МҶ; В) 6 МҶ; Г) 5 МҶ; Д) 7 МҶ.

540. Коэффисиенти гармигузаронии газҳои тунук ба фишор чӣ тавр вобаста аст?

А) вобаста нест; Б) мутаносиби чаппа; В) мутаносиби роста;

Г) дар газҳои тунук гармигузаронӣ мушоҳида намешавад;

Д) гармигузаронии газҳо дар фишори нормалӣ ба фишори газ вобаста нест.

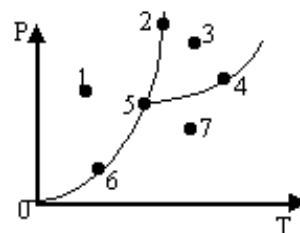
541. Дар фишори 1 мПа зарфи чӣ қадар андозадошта вакуум ҳисоб мешавад?

А) 1 м; Б) 1 см; В) 1 мм; Г) 10 см; Д) 10 мм.

542. Дар расм диаграммаи ҳолати модда оварда шудааст.

Соҳае, ки нуқтаи зерин меҳобад, ба моеъ дахл до-  
рад:

А) 3; Б) 1; В) 7; Г) 3,7; Д) 6.



### Формулаҳои асосии физикаи молекулавӣ

**Миқдори модда:** 
$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}.$$

Ин ҷо  $N$  – адади молекулаҳо,  $N_A$  – дойимии Авогадро,  $m$  – массаи модда,  $M$  – массаи як мол модда.

**Муодилаи Менделеев-Клапейрон:** 
$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT.$$

Ин ҷо  $p$  – фишори газ,  $V$  – ҳаҷми ишғолкардаи он,  $R$  – дойимии молии газӣ,  $T$  – температура.

**Қонуни Бойл-Мариотт** (протсеси изотермӣ:  $T = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):  

$$pV = \text{const}.$$

Барои ду ҳолати газ: 
$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

**Қонуни Гей-Люссак** (протсеси изобарӣ:  $p = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):  $V/T = \text{const}.$

Барои ду ҳолати газ: 
$$V_1/T_1 = V_2/T_2.$$

**Қонуни Шарл** (протсеси изохорӣ:  $V = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )  $p/T = \text{const}.$  Барои ду ҳолати газ:

$$p_1/T_1 = p_2/T_2.$$

**Қонуни Далтон:** 
$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n.$$

**Муодилаи назарияи молекулавӣ-кинетикӣ газ:**

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_{\text{ia}\phi} \rangle = \frac{1}{3} n m_0 \langle \mathcal{G}^2 \rangle = nkT.$$

Ин ҷо  $n$  – консентратсияи молекулаҳо,  $k$  – дойимии Болсман,  $\langle E_{\text{пеш}} \rangle$  – қимати миёнаи энергияи кинетикӣ ҳаракати пешравии молекулаҳо,  $m_0$  – массаи молекула,  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  – қимати миёнаи квадрати суръат.

**Қимати миёнаи энергияи кинетикӣ молекула:** 
$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT.$$

Ин ҷо  $i = i_{\text{пеш}} + i_{\text{ҷарх}} + 2i_{\text{латтис}}$  – адади умумии дараҷаҳои озод.

**Энергияи дохилии гази идеалӣ:** 
$$U = \frac{i}{2} \nu RT.$$

**Суръатҳои тавсифии молекулаҳо:**

а) миёнаи квадратӣ: 
$$g_{\text{ea}} = \sqrt{\langle \mathcal{G}^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

б) миёнаи арифметикӣ: 
$$\langle \mathcal{G} \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}},$$

в) эҳтимолитарин: 
$$g_y = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$$

**Қимати миёнаи дарозии дави озоди молекулаҳо:**

$$\langle \ell \rangle = (\sqrt{2} \pi d^2 n)^{-1}.$$

Ин ҷо  $d$  – диаметри эффективии молекулаҳо.

Адади миёнаи бархӯрди молекулаҳо дар воҳиди вақт:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle \mathcal{G} \rangle.$$

**Муодилаи диффузия:**  $dm = -D \frac{d\rho}{dx} dSdt .$

Ин ҷо  $D$  – коэффисиенти диффузия,  $\rho$  – зичӣ,  
 $dS$  – масоҳати элементарие, ки ба меҳвари  $X$  перпендикуляр аст.

**Муодилаи гармигузаронӣ:**  $dQ = -\chi \frac{dT}{dx} dSdt .$

Ин ҷо  $\chi$  – коэффисиенти гармигузаронӣ.

**Қувваи соиши дохилӣ:**  $dF = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} dS .$

Ин ҷо  $\eta$  – коэффисиенти часпакии динамикӣ.

**Коэффисиенти диффузия:**  $D = \frac{1}{3} \langle \vartheta \rangle \cdot \langle \lambda \rangle .$

**Часпакӣ (динамикӣ):**  $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \cdot \langle \lambda \rangle = D\rho .$

**Гармигузаронӣ:**  $\chi = \frac{1}{3} \tilde{n}_v \rho \langle \vartheta \rangle \cdot \langle \lambda \rangle = \eta c_v .$

Ин ҷо  $c_v$  – гармиғунҷоиши хос ҳангоми дойимӣ будани ҳаҷм.

**Гармиғунҷоиши моли гази идеалӣ:**

а) дар протсеси изохорӣ:  $C_v = \frac{i}{2} R ,$

б) дар протсеси изобарӣ:  $C_p = \frac{i+2}{2} R .$

**Муодилаи Майер:**  $C_p - C_v = R .$

**Ибтидои якуми термодинамика:**  $\delta Q = dU + \delta A .$

Ин ҷо  $dU$  – тағйироти энергияи дохилӣ ва  $\delta A$  – кори элементарӣ  
 $\delta A = p dV$ ;  $\delta Q$  – миқдори ками гармӣ.

**Кори васеъшавии газ дар изопротсесҳо :**

а) изобарӣ:  $A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) ,$

б) изотермӣ:  $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2} ,$

в) адиабатӣ:  $A = -\Delta U = \nu c_v (T_1 - T_2) = \frac{\nu RT_1}{(\gamma - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] .$

**Муодилаи Пуассон** (муодилаи протсеси адиабатӣ)

$$pV^\gamma = \text{const}, TV^{\gamma-1} = \text{const}, T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const} .$$

**Коэффисиенти ҳароратии таъсири фойданоки сикли Карно:**

$$\eta = \frac{Q - Q_0}{Q} = \frac{T - T_0}{T} .$$

Ин ҷо  $Q$  ва  $T$  – миқдори гармии аз гармидеҳ гирифташуда ва температураи он,  $Q_0$  ва  $T_0$  – миқдори гармии ба гармигир интиқолёфта ва температураи он.

**Формулаи Болсман:**  $S = k \ln W$ .

Ин ҷо  $W$ -эҳтимолияти термодинамикии система.

**Нобаробарии Клаузиус**  $\Delta S \geq 0$  ( $\Delta S > 0$  дар протсессҳои бебозгашт ва  $\Delta S = 0$  дар протсессҳои баргаштпазир).

**Тағйироти энтропия** ҳангоми гузариш аз ҳолати 1 ба ҳолати 2

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}. \text{ Барои газҳои идеалӣ: } S_2 - S_1 = \frac{m}{M} \left( C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right).$$

**Муодилаи Ван - дер - Ваалс:**

а) барои 1 мол газ: 
$$\left( p + \frac{a}{V_M^2} \right) \cdot (V_M - b) = RT,$$

б) барои  $\nu$  мол газ: 
$$\left( p + \frac{m^2}{M^2} \cdot \frac{a}{V^2} \right) \cdot \left( V - \frac{m}{M} b \right) = \nu RT.$$

Ин ҷо  $a$  ва  $b$  – дойимиҳои Ван - дер - Ваалс,  $V_M$  – ҳаҷми 1 мол газ.

**Қонуни тақсимоти нормалии Гаусс:** 
$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dx;$$

**Қонуни тақсимоти стандартии Гаусс:**

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2/2} dz;$$

**Тақсимоти Максвелл барои бузургии суръат:**

$$f(\mathcal{G}) = \frac{dN(\mathcal{G})}{Nd\mathcal{G}} = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-m_0 \mathcal{G}^2 / 2kT} \mathcal{G}^2.$$

**Тақсимоти Максвелл барои суръатҳои нисбӣ:**

$$\varphi(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-u^2/2} u^2 du; \text{ ин ҷо } u = \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_0} \text{ - суръати нисбӣ.}$$

**Тақсимоти Максвелл барои энергияи ҳаракати ҳароратӣ:**

$$f(\varepsilon) = \frac{dN(\varepsilon)}{Nd\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} e^{-\varepsilon/kT} \sqrt{\varepsilon}.$$

**Сели молекулаҳои, ки аз сатҳи муайян мегузаранд:**  $\nu' = \frac{1}{4} n \langle \mathcal{G} \rangle;$

**Тақсимоти Болсман:**  $n = n_0 \exp \left( -\frac{E_n}{kT} \right);$

**Формулаи барометрӣ:**  $p = p_0 \exp \left( -\frac{m_0 g h}{kT} \right) = p_0 \exp \left( -\frac{M g h}{RT} \right).$

**Муодилаи политропӣ:**  $pV^n = const;$

**Тағйироти энтропияи гази идеалӣ дар протсеси изохорӣ:**  $S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1};$

**Тағйироти энтропияи гази идеалӣ дар протсеси изотермӣ:**  $S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1};$

**Энталпия:**  $H = U + pV.$

**Энергияи озод:**  $F = U - TS.$

**Функция термодинамики Гиббс:**  $G = H - TS$ .

**Энергия озод:**  $F = U - TS$ .

**Шарти устуворӣ барои системае, ки ҳаҷм ва энтропияаш доимист:**  $dU < 0$ .

**Шарти устуворӣ барои системае, ки фишор ва энтропияаш доимист:**  $dH < 0$ .

**Шарти устуворӣ барои системае, ки фишор ва температурааш доимист:**  
 $dG < 0$ .

**Шарти устуворӣ барои системае, ки ҳаҷм ва температурааш доимист:**  $dF < 0$ .

**Муодилаи Клапейрон-Клаузиус:**  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)}$ .

**Ин ҷо  $L$ - гармии ниҳонии гузариши массаи муайяни модда,  $V_1$ -ҳаҷми фазаи газӣ,  $V_2$ -ҳаҷми фазаи ҳолати моеъ.**

**Гармии хоси бугшавӣ дар температураи дилхоҳ:**  $L(T) = L_0 + (c_p - c_n)(T - T_0)$ , ки дар ин ҷо  $L_0$ - гармии хоси бугшавӣ дар температураи  $T_0$ ,  $c_p$ - гармиғунҷоиши хоси буг,  $c_n$ - гармиғунҷоиши хоси моеъ.

**Энергияи дохилии гази реалӣ:**  $U = \frac{m}{M} \left( C_V T - \frac{a}{V} \right)$ .

**Ифодаи эффекти дифференсиалии Ҷоулу Томсон:**

$$\left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H = \frac{1}{C_p} \left[ T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right].$$

**Ифодаи эффекти интегралии Ҷоулу Томсон:**  $T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H dp$ .

**Ифодаи эффекти дифференсиалии Ҷоулу Томсон барои гази Ван-дер-Ваалсӣ:**

$$\left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_H = \frac{1}{C_p} \left( \frac{2a}{RT} - b \right).$$

**Эффекти интегралии Ҷоулу Томсон барои гази Ван-дер-Ваалсӣ:**

$$T = \frac{2a}{Rb} \left( 1 - \frac{b}{V} \right).$$

**Муодилаи умумии ҳодисаҳои интиқоли:**  $I_g = -\frac{1}{3} n \prec \mathcal{G} \succ \ell \succ \frac{\partial G}{\partial x}$ .

**Муодилаи гармигузаронии газ (қонуни Фурйе):**  $I_g = -\frac{1}{3} \rho \prec \mathcal{G} \succ \ell \succ C_v \frac{\partial T}{\partial x}$ .

**Муодилаи часпакӣ (соиши дохилӣ)-и газ (қонуни Нютон барои часпакӣ):**

$$I_{mu} = -\frac{1}{3} \rho \prec \mathcal{G} \succ \ell \succ \frac{\partial u}{\partial x}.$$

**Муодилаи худдиффузияи газ (қонуни Фик):**  $I_{n1} = -\frac{1}{3} \prec \mathcal{G} \succ \ell \succ \frac{\partial n_1}{\partial x}$ .

**Муодилаи диффузияи ҳамдигарии газҳо:**  $I_1 = -\frac{D_1 n_2 + D_2 n_1}{n_1 + n_2} \frac{\partial n_1}{\partial x}$ .

## ИЛОВАҶО

## I Дойимиҳои асосии физикӣ

Дойимиҳои физикӣ	Ишора	Бузургӣ
Шитоби афтиши озод	g	9,81 м/с <sup>2</sup>
Доимии Авогадро	N <sub>A</sub>	6,022 10 <sup>23</sup> мол <sup>-1</sup>
Дойимии молии газӣ	R	8,31451 Ҷ/(мол.К)
Ҳачми як мол газ дар шароити нормалӣ	V <sub>0m</sub>	22,41383 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> /мол
Дойимии Болсман	k	1,380658 10 <sup>-23</sup> Ҷ/К
Дойимии Стефан-Болсман	σ	5,67.10 <sup>-8</sup> Вт/(м <sup>2</sup> .К <sup>4</sup> )
Доимӣ дар қонуни кӯчиши Вин	b	2,90.10 <sup>-3</sup> М
Шароити нормалӣ: фишори атмосферӣ	P <sub>0</sub>	101325 Па
температура	T <sub>0</sub>	273 К
Воҳиди атомии масса	ВАМ	1,6605655 10 <sup>-27</sup> кг

## II Протсессҳо дар газҳои идеалӣ

Протсес	Муодилаи протсес	Гармиғунҷоиш C
Изотермӣ $T = const$	$pV = const$ ,	$C = \infty$
Изобарӣ $p = const$	$V / T = const$	$C_p = \frac{i+2}{2} R$
Изохорӣ $V = const$	$p / T = const$	$C_v = iR / 2$
Адиабатӣ $\delta Q = 0$	$pV^\gamma = const$ ; $TV^{\gamma-1} = const$ $p^{1-\gamma} T^\gamma = const$ $\gamma = C_p / C_v = (i+2) / i$ - нишондоди адиабата	$C = 0$
Политропӣ $C = const$	$pV^n = const$ ; $TV^{n-1} = const$ $p^{1-n} T^n = const$ $n = (C - C_p) / (C - C_v)$ - нишондоди политропа	$C = \frac{nC_v - C_p}{n - 1}$ ,

Протсес	Кор $\delta A = p dV$	Гармӣ $\delta Q = \nu C dT$ $\Delta Q = \nu C \Delta T$	Энергияи дохилӣ $dU = \nu C_v dT$	Энтропия $dS = \delta Q / T$
Изотермӣ	$A = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$	$\Delta Q = A$	$\Delta U = 0$	$\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$
Изобарӣ	$A = \nu (C_p - C_v) \Delta T$ $= \nu R \Delta T$	$\Delta Q = \nu C_p \Delta T$	$\Delta U = \nu C_v \Delta T$	$\Delta S = \nu C_p \ln(T_2 / T_1)$
Изохорӣ	$A = 0$	$\Delta Q = \nu C_v \Delta T$	$\Delta U = \nu C_v \Delta T$	$\Delta S = \nu C_v \ln(T_2 / T_1)$
Адиабатӣ	$A = -\Delta U$	$\Delta Q = 0$	$\Delta U = \nu C_v \Delta T$	$\Delta S = 0$
Политропӣ	$A = \nu (C - C_v) \Delta T$	$\Delta Q = \nu C \Delta T$	$\Delta U = \nu C_v \Delta T$	$\Delta S = \nu C \ln(T_2 / T_1)$

## III Таъсири газҳо ва буғҳо ба организми инсон

Модда	Марговар ҳангоми нафаскашӣ дар муддати 5-10 дақиқа	Хавфнок (заҳрнок) ҳангоми нафаскашӣ дар муддати 0,5-1 соат	Тоқатфарсо ҳангоми нафаскашӣ дар муддати 0,5-1 соат
	Концентрация, мг/л		
Аммиак	3,5	1,7	0,17
Анилин	-	-	0,5
Атсетилен	550	275	ПО
Бензин	120	80	60
Бензол	55	25	10
Окси нитроген	1,0	0,2	0,1
Оксиди карбон	6,0	2,4	1,2
Сернистый газ	8,0	1,1	0,3
Сероводород	1,	0,6	0,3
Сероуглерод	6,0	3,0	1,5
Синильная кис-	0,2	0,1	0,05
Оксиди карбон	162	90	54
Фосген	0,2	0,1	0,004
Хлор	0,7	0,07	0,007
Хлороформ	125	75	25
Чорхлориди карбон	315	158	63
Этилен	1100	920	575

## IV Дойимии газҳо

Газ	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	Диаметри эффективии молекула d, нм	Коэффисиенти соиши дохилӣ $\eta$ , мкПа с	Гармигузаронӣ $\chi$ , мВт/(м К)	a, $\frac{\text{Па м}^6}{\text{мол}^2}$	b, $10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{мол}}$
Ar	1,67	0,35	22,1	16,2	0,136	32,2
He	1,67	0,20	18,9	141,5	0,00343	23,4
H <sub>2</sub>	1,41	0,27	8,4	168,4	0,024	26,3
N <sub>2</sub>	1,40	0,37	16,7	24,3	0,136	38,5
O <sub>2</sub>	1,40	0,35	19,2	24,4	0,136	31,6
Ҳаво	1,40	0,35	17,2	24,1	-	-
CO <sub>2</sub>	1,30	0,40	14,0	23,2	0,364	42,6
H <sub>2</sub> O	1,32	0,30	9,0	15,8	0,556	30,6

Эзоҳ:  $\gamma$ ,  $\eta$  ва  $\chi$  - дар шароити нормалӣ.



## V Доймиҳои моеъҳо ва ҷисмҳои сахт

Модда	Гармигунҷоиши хос, $Ц/(кг\ K)$ (дар шароити нормалӣ)	Гармии хоси бугшавӣ $r, МЦ/кг$ $P=1\ атм$	Гармии хоси гудо-зиш $\lambda, кЦ/кг$	Кашиши сатҳӣ $\sigma, мН/м$
Об(15 °C)	4180	2,250	-	73
Глисерин	2420	-	-	66
Симоб	140	0,284	-	490
Спирти этилӣ	2420	0,853	-	22
Алюминий	900	-	321	-
Оҳан	460	-	270	-
Ях(-5 °C)	2090	-	333	-
Мис	390	-	175	-
Нуқра	230	-	88	-
Сурб	130	-	25	-
Шиша	840			

## VI Зичии моддаҳо

Ҷисмҳои сахт	$\rho, кг/м^3$	Моеъҳо	$\rho, кг/м^3$
Алмос	3500	Бензол	880
Алюминий	2700	Глисерин	1260
Волфрам	19100	Керосин	800
Графит	1600	Равғани кастровӣ	900
Кадмий	8650	Симоб	13600
Кобалт	8900	Спирт	790
Мис	8900	Об	1000
Молибден	10200	Оби вазнин	1100
Натрий	970	Эфир	720
Никел	8900	<b>Газҳо <math>P=1\ атм</math></b>	
Нуқра	10500	Аммиак	0,77
Оҳан (пулод)	7800	Гидроген	0,09
Платина	21500	Метан	0,72
Пук	200	Нитроген	1,25
Синк	7000	Оксиген	1,43
Сурб	11300	Туршии карбон	1,98
Тилло	19300	Хлор	3,21
Титан	4500	Ҳаво	1,293
Чинӣ	2300		
Қалъагӣ	7400		
Ях	915		

## VII Коэффициенти васеъшавии ҳароратӣ (дар температураи 298 К)

Қисми саҳт	Коэффициенти ба қад васеъшавӣ $\alpha$ , $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Моеъ	Коэффициенти васеъшавии ҳаҷмӣ $\beta$ , $10^{-4} \text{ K}^{-1}$
Алюминий	22,9	Глисерин	5,0
Латун	18,9	Керосин	10,0
Мис	16,7	Об	2,1
Пулод (оҳан)	11	Симоб	1,8
Шишаи оддӣ	8,5	Спирти этил	11,0

## VIII Дойимиҳои чандирӣ. Ҳудуди мустаҳкамӣ.

Модда	Модули Юнг, ГПа	Модули лағзиш, ГПа	Коэффициенти Пуассон	Ҳудуди мустаҳкамӣ ҳангоми ёзиш, ГПа	Фишурдашавӣ, ГПа <sup>-1</sup>
Алюминий	70	26	0,34	0,10	0,014
Мис	130	40	0,34	0,30	0,007
Об	-	-	-	-	0,49
Пулод	200	81	0,29	0,60	0,006
Сурб	16	5,6	0,44	0,015	0,022
Шиша	60	30	0,25	0,05	0,025

## IX Хосиятҳои механикии баъзе қисмҳои саҳт

Модда	Ҳудуди мустаҳкамӣ ҳангоми ёзиш, МПа	Модули чандирӣ, ГПа
Алюминий	100	70
Волфрам	3000	415
Квартс	-	73
Мармар	140	70
Мис	400	120
Нукра	140	80
Пулод	500	200
Рӯҳ	150	30
Сурб	15	16
Тилло	140	79
Фарфор	650	150
Хишт	17	3
Гранит(Хоросанг)	150	49
Шиша	90	50
Қалъагӣ	20	50
Ях	1	10

## X Температураҳои критикӣ ва фишорҳои критикӣ

Модда	$T_K, K$	$P_K, 10^5 Pa$	Модда	$T_K, K$	$P_K, 10^5 Pa$
Буғи об, $H_2O$	647	219,82	Оксиген, $O_2$	154,2	50,65
Хлор, $Cl_2$	417	77,00	Аргон, $Ar$	150,6	48,62
Аммиак, $NH_3$	405	113,46	Нитроген, $N_2$	126	33,93
Оксиди карбон, $CO_2$	304	73,95	Неон, $Ne$	45	26,34
Криптон, $Kr$	210,5	54,70	Гидроген, $H_2$	33	12,71
Метан	191,1	46,40	Гелий, $He$	5,1	2,23

## XI Фишори буғҳои сери об

Температура $^{\circ}C$	Фишор, кПа	Температура $^{\circ}C$	Фишор, кПа	Температура $^{\circ}C$	Фишор, кПа
0	0,61	25	3,15	60	19,9
5	0,87	30	4,23	70	31,0
10	1,22	35	5,60	80	47,3
15	1,70	40	7,35	90	70,0
20	2,33	50	12,3	100	101,3

## XII Зичии об дар температураҳои гуногун

Температура, $^{\circ}C$	Зиччӣ $\rho_0, kg/m^3$	Температура, $^{\circ}C$	Зиччӣ $\rho_0, kg/m^3$
0	0,99987	15	0,99913
1	0,99993	16	0,99897
2	0,98997	17	0,99880
3	0,99999	18	0,99862
4	1,00000	19	0,99843
5	0,99999	20	0,99823
6	0,99997	21	0,99802
7	0,99993	22	0,99780
8	0,99988	23	0,99757
9	0,99981	24	0,99732
10	0,99973	25	0,99707
11	0,99963	26	0,99681
12	0,99952	27	0,99654
13	0,99940	28	0,99626
14	0,99927	29	0,99597

## XIII Часпакии об дар интервали температураи 0 – 100°C

Температура, °C	Часпакӣ $\eta$ , <i>спз</i>	Температура, °C	Часпакӣ $\eta$ , <i>спз</i>	Температура, °C	Часпак ӣ $\eta$ , <i>спз</i>
0	1,7921	34	0,7371	67	0,4233
1	1,7313	35	0,7225	68	0,4174
2	1,6728	36	0,7085	69	0,4117
3	1,6191	37	0,6947	70	0,4061
4	1,5674	38	0,6814	71	0,4006
5	1,5188	39	0,6685	72	0,3952
6	1,4728	40	0,6560	73	0,3900
7	1,4284	41	0,6439	74	0,3849
8	1,3860	42	0,6321	75	0,3799
9	1,3462	43	0,6207	76	0,3750
10	1,3077	44	0,6097	77	0,3702
11	1,2713	45	0,5988	78	0,3655
12	1,2363	46	0,5883	79	0,3610
13	1,2028	47	0,5782	80	0,3565
14	1,1709	48	0,5683	81	0,3521
15	1,1404	49	0,5588	82	0,3478
16	1,1111	50	0,5494	83	0,3436
17	1,0828	51	0,5404	84	0,3395
18	1,0559	52	0,5315	85	0,3355
19	1,0299	53	0,5229	86	0,3315
20	1,0050	54	0,5146	87	0,3276
21	0,9810	55	0,5064	88	0,3239
22	0,9579	56	0,4985	89	0,3202
23	0,9358	57	0,4907	90	0,3195
24	0,9142	58	0,4832	91	0,3130
25	0,8937	59	0,4759	92	0,3095
26	0,8737	60	0,4688	93	0,3060
27	0,8545	61	0,4618	94	0,3027
28	0,8360	62	0,4550	95	0,2994
29	0,8180	63	0,4483	96	0,2962
30	0,8007	64	0,4418	97	0,2930
31	0,7840	65	0,4355	98	0,2899
32	0,7679	66	0,4293	99	0,2868
33	0,7523			100	0,2838

XIV Ҳалшавандагии намакҳо дар об ( $t=18$  °C )

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>
F <sup>-</sup>	4,44	92,56	0,0076	0,0016	0,012	0,16	0,005	0,07
Cl <sup>-</sup>	35,86	32,95	55,8	73,19	51,09	32,74	203,9	1,49
Br <sup>-</sup>	88,76	65,86	103,1	143,3	96,52	103,6	4478,2	0,598

I <sup>-</sup>	177,9	137,5	148,2	200	169,2	201,4	419,0	0,08
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	83,97	30,34	74,3	121,8	66,27	8,74	117,8	51,66
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97,16	6,6	126,4	179,3	174,9	35,42	183,9	150,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	16,83	11,11	35,43	0,2	0,011	2,3 10 <sup>-4</sup>	53,12	0,0041
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	16,39	108,0	0,01	0,0013	0,0011	0,0023	0,004	10 <sup>-4</sup>
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	61,21	63,1	73,0	0,4	0,12	3,8 10 <sup>-4</sup>	-	2 10 <sup>-5</sup>
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,34	30,27	0,03	5,6 10 <sup>-4</sup>	0,0046	0,0086	6 10 <sup>-4</sup>	1,5 10 <sup>-4</sup>
OH <sup>-</sup>	116,4	142,9	0,001	0,17	0,77	3,7	5 10 <sup>-4</sup>	0,01

### XV Хосиятҳои физикавии металлҳои тоза

Метал	Зичӣ кг/(м <sup>3</sup> )	T <sub>гудозиш</sub> °C	Гармиғун- ҷоиши хос Ҷ/(кг К)	Гармигуза- ронии хос Вт/(м К)	Коеф.васеъ. хароратӣ (10 <sup>-6</sup> ) К <sup>-1</sup>	Гармии гудозиши молӣ, кҶ/мол
Алюминий	2700	660,32	923	218,0	21,0	10,789
Барий	3750	727	285	-	19,0	7,12
Берилӣ	1840	1287	1800	184	12,0	7,895
Ванадий	6110	1900	503	31	8,3	
Висмут	9800	271,4	126	8,4	13,3	11,145
Волфрам	19300	3400	142	167,0	4,4	
Гадолиний	7890	1310	-	8,8	9,7	
Галлий	5920	30	336	29,3	18,1	
Гафний	13290	2220	138	22,0	5,9	
Индий	7300	156	239	72	28,4	
Иридий	22400	2410	130	146,0	6,5	
Иттрий	4470	1525	310	14,6	9,3	
Кадмий	8650	320,9	231	92,8	29,0	
Калий	860	63	754	97,0	83,3	
Калсий	1530	851	650	98	18,5	8,54
Кобалт	8850	1500	445	69,5	13,5	
Лантан	6180	920	188	13,8	5,2	
Литий	530	180	3285	71	56	
Магний	1740	651	1040	170,0	27	
Манган	7440	1244	477	66,7	22,3	

Мис	8920	1083	386	406,0	16,6	11,176
Молибден	10200	2620	272	150,0	5,3	
Натрий	970	98	1220	134,0	72,0	
Никел	8960	1453	440	75,5	13,2	
Ниобий	8570	2470	268	50,0	7,2	
Нукра	10490	960,5	235	453,0	18,6	11,28
Осмий	22500	3000	129	-	4,6	
Оҳан	7870	1540	453	73,3	10,7	15,232
Палладий	12020	1552	243	70,7	9,5	
Платина	21450	1773	134	71,1	9,5	22,03
Рений	21020	3180	138	52,0	6,7	
Родий	12480	1970	247	88,0	8,5	
Рубидий	1530	39	335	35,6	90,0	
Рутений	12400	2250	239	-	9,1	
Рух	7140	419,5	336	113,0	30,0	7,65
Симоб	13500	- 39	138	7,9	182,0	
Сурб	11340	327	130	35,0	28,3	2,68
Сезий	1900	28	220	18,4	97	
Серий	6780	795	210	10,9	7,1	
Сирконий	6500	1855	277	29,5	6,3	
Скандий	3000	1540	545	11,3	11,4	
Стронций	2630	770	737	-	21,0	
Таллий	11850	303	147	35	28,0	
Тантал	16600	3000	150	50	6,6	
Тилло	19300	1064,18	134	312,0	14,0	12,72
Титан	4520	1670	550	21,9	8,1	
Торий	11600	1750	113	37,0	11,5	
Уран	19050	1130	-	26,7	14,0	
Хром	7190	1900	462	88,6	6,2	
Қалъағй	7290	231,9	226	63,1	23,0	6,97

**Фехрасти мафхумҳои асосӣ**

А	
Адади Авогадро	25
----- дараҷаҳои озод	78
Адиабата	125
Алтиметр	78
Атмосфераи сайёраҳо	73-76
Б	
Барометр	59
Бурришгоҳи арзии эффективӣ	
Буғи сер	194
---- афзунсардшуда	202
В	
Вакуум	320
Вақти релаксатсия	317
Г	
Газҳои идеалӣ	37
----- реалӣ	187
----- тунук	319
Гармигузаронӣ	311
Гармии ҳалшавӣ	238
Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ ҳангоми доимӣ мондани фишор	117
Гармиғунҷоиши молии гази идеалӣ ҳангоми доимӣ мондани ҳаҷм	117
Гармиғунҷоиши кристалҳо	282
Гармиғунҷоиши молӣ	117
Гидрататсияи ионҳо	239
Гармиғунҷоиши ҳоси модда	116
----- ҳисм	116
Гузариши фазаӣ	
----- чинси якум	193
----- чинси дуҷум	193
Д	
Дарозии миёнаи дави озоди молекулаҳо	55, 56, 57
Дараҷаи озоди молекула	78
----- лапишӣ	79
----- пешравӣ	78
----- чархиш	78
Диаметри эффективии молекула	
Дисперсия	33

Диффузия	311
Дойимии Болсман	60
----- универсалии газӣ	60
И	
Изотермаи гази идеалӣ	61
----- гази реалӣ	187
Изопротсессҳо	61
К	
Какшиши сатҳӣ	221
Кристалҳои ионӣ	271
----- ковалентӣ	272
----- металӣ	273
----- моеъ	241
----- молекулавӣ	276
Кор дар термодинамика	113
Коэффисиентҳои вириалӣ	203
Коэффисиенти гармигузаронӣ	313
----- диффузия	316
----- часпакӣ	315
----- кашиши сатҳӣ	221
----- васеъшавии ҳаттӣ	394
----- васеъшавии ҳаҷмӣ	394
ККФ-и протсессҳои даврӣ	133
----- мошинҳои ҳароратӣ	132
----- сикли Карно	134
Кунҷи канорӣ	226
М	
Мафхумҳои асосии назарияи эҳтимолият	30
Майли миёнаи квадратӣ	33
Манометр	59
Массаи молекулаи алоҳида	26
----- молӣ	26
----- нисбии молекулавӣ	25
Маҳдудҳо	235
Методи термодинамикӣ	27, 113
----- статистикӣ	25, 27
Миқдори гармӣ	114
Модели гази идеалӣ	38
Моеъгардонии газҳо	214
Моеъи барзиёдтафсида	202
Мошинҳои ҳароратӣ	132
Муодилаи вариалии ҳолат	203
Муодилаи Ван-дер-Ваалс	197-203
----- диффузия	315

----- гармигузаронӣ	313
----- Клапейрон-Клаузиус	195
----- Майер	118
----- Менделеев-Клапейрон	60
----- Пуассон	125
Муодилаи ҳолати Бертоло	209
----- Дитеричи	209
----- Битти- Бричмен	209
----- Вукалович-Новиков	210
----- Бенедикт-Вебб-Рубин	210
----- Клаузиус	210
----- Камерлинг-Оннес	210
----- часпакӣ	314

## Н

Нишондиҳандаи адиабата	124
----- политропа	126
Нобаробарии Клаузиус	139
Нуқтаи критикӣ	192
----- сегона	196

## О

Опалессенсияи критикӣ	193
-----------------------	-----

## П

Пайвастагии ионӣ	188
----- ковалентӣ	189
Панҷараи кристалӣ	264
Панҷараҳои кристаллии Браве	268
Параметри ҳолат	38
Полимерҳо	293
Потенсиали Леннард-Чонс	191
Потенциалҳои термодинамикӣ	145
Потенсиали термодинамикии	
Гибсс	146
Протсес	115
Протсеси адиабатӣ	115, 124
----- изобарӣ	62
----- изотермӣ	61
----- изохорӣ	62
----- политропӣ	126
----- баргарданда	116
----- бебозгашт	116
Протсесҳои даврӣ	131
Принсипи Ле Шателье-Браун	149

## Р

Робита(и)	
----- водородӣ	

----- ионӣ	
----- ковалентӣ	
----- металлӣ	

## С

Санчиши таҷрибавии тақсимооти	
Максвелл	53
Сели молекулаҳо	57
Сикли Карно	133
Симметрияи транслясионӣ	265
----- винтӣ	267
Синергетика	328
Суръати молекулаҳои газ	
----- миёнаи арифметикӣ	50
----- квадратӣ	50
----- эҳтимолитарин	50

## Т

Тавсифоти кинематикии ҳаракати	
молекулаҳо	55
Таршавӣ ва тарнашавӣ	227
Таносубҳои Максвелл	147
Тақсимооти биномалӣ	41
----- Болсман	71, 72
----- Гаусс	34-37
----- Максвелл	45
----- барои	
суръатҳои нисбӣ	51
----- молекулаҳо мувофиқи	
энергияи кинетикиашон	49
Температура	64, 65
Температураи Бойл	204
----- инверсия	213
----- критикӣ	194
Теоремаи Болсман	78
----- дуҷуми Карно	138
----- зарби эҳтимолиятҳо	32
----- яҷуми Карно	136
----- ҷамъи эҳтимолиятҳо	32

## Ф

Фаза	192
Фишори гази идеалӣ	58
Флуктуатсия	42
Формулаи барометрӣ	73
----- Болсман барои энтропия	130
----- Жюрен	230
----- Лаплас	225
----- Стирлинг	41



Функсияи термодинамикӣ	146		
X			
Хосиятҳои физикавии об	231		
Ч			
Часпакӣ	311		
Ш			
Шарти асосии устувории термодинамикӣ	148,149		
Шарти нормиронидани функсияи тақсимот	31		
Шкалаи газии температура	67		
----- Реомюр	66		
----- Селсий	65		
----- Фарангейт	65		
----- термодинамикии мутлақи температура	136, 137		
Э			
Энергияи дохилии гази идеалӣ	114		
----- реалӣ	209		
Энталпия	117		
Энтропия	129, 140		
Энтропияи гази идеалӣ	128		
----- Жоул-Томсон	211		
Эҳтимолияти макроҳолат	39		
----- термодинамикӣ	39		
----- шартӣ	32		
Қ			
Қимати миёна			
----- бузургиҳои бефосила	34		
----- дискретӣ	33		
Қонуни Авогадро	63		
----- Амага	64		
----- Бойл-Мариотт	61		
----- Гей-Люссак	62		
----- Далтон	63		
----- Дюлонг ва Пти	283		
Қонуни дуҷуми термодинамика	138		
----- сеҷуми термодинамика	216		
----- тақсимои баробарии энергия мувофиқи дараҷаҳои озод	78		
----- нормалӣ	37		
----- Шарл	62		
----- ҳолатҳои мувофиқ	207		
----- яқуми термодинамика	115		
Қонунҳои статистикӣ	30		
		X	
		Ҳаракати броунии молекулаҳо	79
		Ҳодисаҳои капиларӣ	229
		Ҳолати макроскопии система	37,38
		----- микроскопии система	38
		----- метастабилӣ	202
		----- статсионарӣ	37
		Ҳолатҳои агрегатии модда	28
		-----газӣ	29
		-----моеъ	29, 216
		-----сахтӣ	29, 262
		Ч	
		Чисмҳои сахт	
		----- аморфӣ	262
		----- кристалӣ	262
		Чӯшиши моеъ	218

### Китобнома

1. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курси физикаи умумӣ. Ҷилди 1. Асосҳои механика, физикаи молекулавӣ. //Тарҷимаи М.С. Осимӣ.-Сталинобод: Нашриёти давлатии адабиёти таълимӣ-педагогии Тоҷикистон, 1960- 505 с.
2. Сайдуллоева М. Механика, физикаи молекулярӣ ва термодинамика.- Душанбе: Матбааи ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, 2013.- 324 с.
3. Ҳақимов Ф. Х., Насриддинов М. Асосҳои назарияи квантии ҷисмҳои сахт. Дастури таълимӣ.- Душанбе, 1986.-110 с.
4. Сафиев Ҳ. С., Аминҷонов А. О., Каримов М. Б. Об - муъҷизаи табиат:- Душанбе: ЭР - граф, 2003.-380 с.
5. Сафиев Ҳ. С., Аминҷонов А. О., Каримов М. Б. Химия дар қоидаҳо, таомулҳо, аксҳо ва нақшаҳо. -Душанбе: ЭР-граф, 2004.-432 с.
6. Юсуфов З. Н., Раҳимова М. М., Қудратова Л. Ҳ. Кимиёи физикӣ. Китоб барои мактабҳои олий.- Душанбе: ЭР-граф, 2010- 192 с.
7. Саъдуллозода Ҳ., Холов М., Ҳоҷихонов И. Механика, физикаи молекулавӣ ва асосҳои термодинамика (Баёноти мухтасар). -Душанбе: Амри илм, 2000.-174 с.
8. Низомов З. Соҳибмактабони илми физикаи тоҷик.- Ба ифтихори 50-солагии таъсисёбии факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. - Факултети физика 50 сол.-Душанбе: Амри илм, 2016.-С.103-114.
9. Сулаймонов А. С. Концентратсияи маҳлулҳо ва ҳисоб аз рӯи онҳо.- Душанбе: Ирфон, 1979.- 48 с.
10. Ҷумаев Т., Қодиров Б., Шерматов М. Маҷмӯаи масъалаҳо аз физика.- Душанбе: Маориф, 1995.-168 с.
11. Низомов З., Бурнашев М.А., Бобоев Т.Б. Физика: Барои докталабони донишгоҳу донишкадаҳо ва шогирдону омӯзгорони мактабҳо.-Душанбе, 1991.- 281 с.
12. Низомов З. Маҷмӯи супоришҳои тестӣ аз «Физикаи молекулавӣ»- Душанбе: Матбааи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, 2011.-55 с.
13. Корҳои лабораторӣ аз физикаи молекулавӣ. Мураттибон: Низомов З., Истамов Ф., Акдодов Д., Гулов Б. - Душанбе: Матбааи ДМТ, 2011.-81 с.
14. Практикуми физика (Физикаи молекулавӣ).//Мураттибон: Раҳимов Ф. Қ., Низомов З.-Душанбе: Нашриёти ДДМТ,1999.- 95 с.
15. Энциклопедияи советии тоҷик. Т. 1-8. Душанбе . 1981-1989.
16. Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон. Ҳайати шахсӣ.-Душанбе: Дониш, 2011. - 213 с.
17. Дастовардҳои илмӣ дар риштаи физика ва кимиё /таҳти назари З. Низомов, З. Юсуфов.- Душанбе: ДДМТ, 1994. - 260 с.

18. Қодирӣ С. Луғати русӣ-тоҷикии истилоҳоти физика.- Душанбе:Маориф, 1985.-464 с.
19. Январ Шукрии Самарқандӣ Фарҳанги физикии русӣ ба тоҷикӣ.- Душанбе: Амри илм, 2002.- 480 с.
20. Пирмаҳмад Нуров Фарҳанги мухтасари русӣ ба тоҷикии истилоҳоти илмҳои дақиқ ва техникӣ.-Душанбе, 2013.-619 с.
21. Шерматов М., Қодиров Б.А., Сияҳаков С.М., Муҳаббатов Х.Қ. Физикаи молекулавӣ.-Душанбе: Аржанг, 2015.-199 с.
22. Матвеев А. Н. Молекулярная физика: Учеб. пособие для студентов вузов /А.Н. Матвеев.- 3-е изд.- М.: ООО «Издательство Оникс»: ООО «Издательство «Мир и образование», 2006. - 360 с. - (Классический университетский учебник.)
23. Кикоин И. К., Кикоин А. К. Молекулярная физика.М.:Наука,1976.- 480 с
24. Бурштейн А.И. Молекулярная физика.-Новосибирск:Наука,1986.-284 с.
25. Элементарный учебник физики. Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика - Под ред. Г. С. Ландсберга. Т. 1. - Издательство: Физматлит, 2010. -612 с.
26. Иродов И. Е. Физика макросистем. Основные законы. – Изд-во: Бинном. Лаборатория знаний, 2009. - 208 с.
27. Леванов А. В., Антипенко Э. А. Определение термодинамических свойств статистическими методами. Реальные газы. Жидкости. Твердые тела.- М.: МГУ, 2006.- 37 с.
28. Низомов З., Саидов Р.Х., Гулов Б. Теплоемкость особочистого алюминия и его сплавов .-Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012 г. – 104 с.
29. Низомов З. Механизмы акустической релаксации в водных растворах электролитов .-Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011 г. – 190 с.
30. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. Пособие для вузов.-11-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия» , 2006.-560 с.
31. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд.3-е. - СПб.: Книжный мир, 2008. - 328 с.
32. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов.-3-е изд.- М.:ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»:ООО «Издательство «Мир и Образование», 2005.- 384 с.
33. Сборник задач по общему курсу физики. Термодинамика и молекулярная физика . /Под ред. Д .В . Сивухина . – М.: Наука , 1976.-
34. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физики: Учеб. пособие.-2-е изд., перераб.-М.: Наука, 1988.-288 с.

35. Кассандрова О.Н., Матвеев А.Н., Попов В.В. Методика решения задач по молекулярной физике. / Под общей ред. А.Н. Матвеева. - М.: Изд-во МГУ, 1982.- 192 с.
36. Руководство к лабораторным работам по молекулярной физике. Мураттибон: З. Низомов, А. М. Мухамадиева, М. А. Бурнашев, часть 1.- Душанбе, 1989.-105с.
37. Руководство к лабораторным работам по молекулярной физике. Мураттибон: З. Низомов, М.А. Бурнашев, часть 2.- Душанбе, 1989.-101с.
38. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2001.- 416 с.
39. Кириченко П. А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика /Учебное пособие. 3-е изд.-М.: Физматкнига, 2005.-176 с.
40. Коротков П. Ф. Молекулярная физика и термодинамика. Основные положения и решения задач. Уч. пособие.-2-е изд.-М.:МФТИ, 2004.-168 с.
41. Телеснин Р. В. Молекулярная физика. Учебное пособие для университетов. – М.: Высшая школа, 1973. – 360 с.
42. Смородинский Я. А. Температура. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 160 с.
43. Сивухин В. Д. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. в 3 т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
44. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. -Издательство: Лань, 2007. - 432 с.
45. Осипов А. И., Сысоев Н. Н., Уваров А. В. Современная молекулярная физика. Неравновесный газ. Учебное пособие по курсу «Молекулярная физика». М.: Физический факультет МГУ, 2006.
46. Нарзиев Б.Н. Строение молекул и межмолекулярное взаимодействие. Часть 1и 2.-Душанбе, 1978.-94с., 120 с.
47. Тютюнник В.М. Лауреаты Нобелевской премии по физике (1901–1980) /В. М. Тютюнник // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 1981. –Т. 26, № 3. – С. 353–359.
48. Голованов Я.К. Этюды об учёных.– М.: Молодая гвардия, 1970.– 288 с.
49. Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки (с древнейших времён до начала XX в.) . – М.: Высш. шк., 1989.– 576 с.
50. Энциклопедияи олимони донишгоҳи давлатии миллии Тоҷикистон. - Душанбе: Деваштич, 2008.- 408 с.
51. Воронов В.К., Полоплелов А.В. Современная физика: Учебное пособие. -М.: КомКнига, 2005. - 512 с.
52. Альперович Л. И. Метод дисперсионных соотношений и его применения для определения оптических характеристик. Изд. «Ирфон», Душанбе, 1973. – 46 с.

СИСТЕМАИ ДАВРИИ ЭЛЕМЕНТҲОИ ХИМИЯВИИ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВ

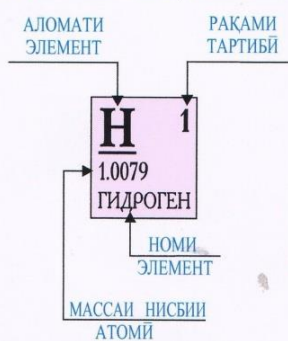
ДАВРҲО	КАТОРҲО	Г У Р Ё Х Ҳ О И Э Л Е М Е Н Т Ҳ О							VIII			Таксимоги электронҳо	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	He <sup>2</sup>				
1	1	<b>H</b> <sup>1</sup> 1.0079 Гидроген							<b>He</b> <sup>2</sup> 4.0026 Гелий				к
2	2	<b>Li</b> <sup>3</sup> 6.941 Литий	<b>Be</b> <sup>4</sup> 9.012 Бериллий	<b>B</b> <sup>5</sup> 10.81 Бор	<b>C</b> <sup>6</sup> 12.011 Карбон	<b>N</b> <sup>7</sup> 14.007 Нитроген	<b>O</b> <sup>8</sup> 15.999 Оксиген	<b>F</b> <sup>9</sup> 18.998 Фтор	<b>Ne</b> <sup>10</sup> 20.179 Неон				к
3	3	<b>Na</b> <sup>11</sup> 22.990 Натрий	<b>Mg</b> <sup>12</sup> 24.305 Магний	<b>Al</b> <sup>13</sup> 26.981 Алюминий	<b>Si</b> <sup>14</sup> 28.086 Силитсий	<b>P</b> <sup>15</sup> 30.973 Фосфор	<b>S</b> <sup>16</sup> 32.06 Сулфур	<b>Cl</b> <sup>17</sup> 35.453 Хлор	<b>Ar</b> <sup>18</sup> 39.948 Аргон				к
4	4	<b>K</b> <sup>19</sup> 39.098 Калий	<b>Ca</b> <sup>20</sup> 40.08 Калсий	<b>Sc</b> <sup>21</sup> 44.956 Скандий	<b>Ti</b> <sup>22</sup> 47.90 Титан	<b>V</b> <sup>23</sup> 50.941 Ванадий	<b>Cr</b> <sup>24</sup> 51.996 Хром	<b>Mn</b> <sup>25</sup> 54.938 Манган	<b>Fe</b> <sup>26</sup> 55.847 Оҳан	<b>Co</b> <sup>27</sup> 58.933 Кобалт	<b>Ni</b> <sup>28</sup> 58.70 Никел		к
	5	<b>Cu</b> <sup>29</sup> 63.546 Мис	<b>Zn</b> <sup>30</sup> 65.38 Рух	<b>Ga</b> <sup>31</sup> 69.72 Галлий	<b>Ge</b> <sup>32</sup> 72.59 Германий	<b>As</b> <sup>33</sup> 74.921 Арсен	<b>Se</b> <sup>34</sup> 78.96 Селен	<b>Br</b> <sup>35</sup> 79.904 Бром	<b>Kr</b> <sup>36</sup> 83.80 Криптон				к
5	6	<b>Rb</b> <sup>37</sup> 85.468 Рубидий	<b>Sr</b> <sup>38</sup> 87.62 Стронсий	<b>Y</b> <sup>39</sup> 88.906 Иттрий	<b>Zr</b> <sup>40</sup> 91.22 Сирконий	<b>Nb</b> <sup>41</sup> 92.906 Ниобий	<b>Mo</b> <sup>42</sup> 95.94 Молибден	<b>Tc</b> <sup>43</sup> 98.906 Технетсий	<b>Ru</b> <sup>44</sup> 101.07 Рутений	<b>Rh</b> <sup>45</sup> 102.905 Родий	<b>Pd</b> <sup>46</sup> 106.4 Палладий		к
	7	<b>Ag</b> <sup>47</sup> 107.868 Нухра	<b>Cd</b> <sup>48</sup> 112.40 Кадмий	<b>In</b> <sup>49</sup> 114.82 Индий	<b>Sn</b> <sup>50</sup> 118.69 Қалъағй	<b>Sb</b> <sup>51</sup> 121.75 Сурма	<b>Te</b> <sup>52</sup> 127.60 Теллур	<b>I</b> <sup>53</sup> 126.904 Йод	<b>Xe</b> <sup>54</sup> 131.30 Ксенон				к
6	8	<b>Cs</b> <sup>55</sup> 132.905 Сезий	<b>Ba</b> <sup>56</sup> 137.34 Барий	<b>La</b> <sup>57</sup> 138.905 Лантан	<b>Hf</b> <sup>72</sup> 178.49 Гафний	<b>Ta</b> <sup>73</sup> 180.948 Тантал	<b>W</b> <sup>74</sup> 183.85 Волфрам	<b>Re</b> <sup>75</sup> 186.207 Рений	<b>Os</b> <sup>76</sup> 190.2 Осмий	<b>Ir</b> <sup>77</sup> 192.22 Иридий	<b>Pt</b> <sup>78</sup> 195.09 Платина		к
	9	<b>Au</b> <sup>79</sup> 196.967 Тилло	<b>Hg</b> <sup>80</sup> 200.59 Симоб	<b>Tl</b> <sup>81</sup> 204.37 Таллий	<b>Pb</b> <sup>82</sup> 207.2 Сурб	<b>Bi</b> <sup>83</sup> 208.980 Висмут	<b>Po</b> <sup>84</sup> (209) Полоний	<b>At</b> <sup>85</sup> (210) Астат	<b>Rn</b> <sup>86</sup> (222) Радон				к
7	10	<b>Fr</b> <sup>87</sup> (223) Франсий	<b>Ra</b> <sup>88</sup> 226.025 Радий	<b>Ac</b> <sup>89</sup> (227) Актиний	<b>Rf</b> <sup>104</sup> (261) Резерфордий	<b>Db</b> <sup>105</sup> (262) Дубний	<b>Sg</b> <sup>106</sup> (263) Сиборгий	<b>Bh</b> <sup>107</sup> (262) Борий	<b>Hn</b> <sup>108</sup> (265) Ханий	<b>Mt</b> <sup>109</sup> Мейтнерий	<b>110</b>		к

ЛАНТАНОИДҲО

58 <b>Ce</b> 140.12 Серий	59 <b>Pr</b> 140.908 Празеодим	60 <b>Nd</b> 144.24 Неодим	61 <b>Pm</b> (145) Прометий	62 <b>Sm</b> 150.4 Самарий	63 <b>Eu</b> 151.96 Европий	64 <b>Gd</b> 157.25 Гадолиний	65 <b>Tb</b> 158.925 Тербий	66 <b>Dy</b> 162.50 Диспрозий	67 <b>Ho</b> 167.26 Голмий	68 <b>Er</b> 168.93 Эрбий	69 <b>Tm</b> 173.04 Тулий	70 <b>Yb</b> 174.97 Иттербий	71 <b>Lu</b> 174.97 Лютеций	к
---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---

АКТИНОИДҲО

90 <b>Th</b> 232.038 Торий	91 <b>Pa</b> (231) Протактиний	92 <b>U</b> 238.029 Уран	93 <b>Np</b> (237) Нептуний	94 <b>Pu</b> (244) Плутоний	95 <b>Am</b> (243) Америтсий	96 <b>Cm</b> (247) Кюрий	97 <b>Bk</b> (247) Берклий	98 <b>Cf</b> (251) Калифорний	99 <b>Es</b> (254) Эйнштейний	100 <b>Fm</b> (257) Фермий	101 <b>Md</b> (258) Менделеевий	102 <b>No</b> (259) Нобелий	103 <b>Lr</b> (260) Лоуренсий	к
----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---



- s-ЭЛЕМЕНТҲО
- d-ЭЛЕМЕНТҲО
- p-ЭЛЕМЕНТҲО
- f-ЭЛЕМЕНТҲО

Г У Р Ё Х И Э Л Е М Е Н Т Ҳ О							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
ОКСИДҲОИ ОҶИ	R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
ҒАЙБАСТЛИИ ГИДРОГАВИИ ВУЗУРШАВАДА				RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> H	RH

Дар ҷадвал (дар қавси квадратӣ) массаи атомии изотопҳои бештар устувор оварда шудаанд





Низомов Зиёвуддин соли 1947 дар дехаи Ревади ноҳияи Айнӣ таваллуд шуда соли 1968 Университети давлатии Тоҷикистонро бо дипломи аъло хатм намудааст. Номзати илмҳои физикаю математика, ходими пешбари илми шӯъбаи Физикаи муҳитҳои конденсии Институти илмию таҳқиқоти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Ӯ яке аз асосгузори равияи илм «Омӯзиши сохтори ассотсиатҳо ва моҳияти релаксатсияи акустикӣ дар маҳлулҳои обии электролитҳо» ба шумор меравад. Ба З. Низомов муяссар гардид, ки сохтори маҳлулҳои обии электролитҳоро бо методи спектроскопияи инфрасурх аниқ карда моҳияти фурубурди релаксатсионии ултрасадоро пешниҳод кунад. Ҳоло бо шогирдонаш ба тадқиқи хосиятҳои термофизикии металлҳои тоза ва хулаҳои алюминӣ дар ҳудуди васеи температура машғул аст. Муаллифи 3 монография, 7 воситаи таълимӣ ва зиёда аз 200 мақолаи илмӣ.