

МИРЗО У  
ЎЗБЕКИС

---

533

Б-18

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ

МИРЗО УЛУҒБЕҚ НОМИДАГИ  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

ЭЛМУРОДОВ Р.У., НУРМАТОВ Н.А.,  
НОРҚУЛОВ Н., РАХМОНОВ Ф.Т.

**ВАКУУМ ФИЗИКАСИ  
ВА ТЕХНИКАСИ**

ЎҚУВ ҚҮЛЛАНМА

Тошкент

“Ma’rifat”

2024

УЎК: 530.225:37.013(075.8)  
КБК: 22.3+74.00я73  
В 18

Элмуродов Р.У., Нурматов Н.А., Норкулов Н., Раҳмонов Ф.Т.  
Вакуум физикаси ва техникаси. Ўқув кўлланма.  
—Т.: “Ma’rifat”, 2024. 199 бет.

Ўқув-услубий кўлланма 5140200 – физика таълим йўналишида тахсил олаётган талабаларга мўлжалланган. Кўлланмада замонавий педагогик технологиятимига асосланган ҳолда ўқув мақсадлари аниқланган, мавзу бўйича муаммолар, мухокама учун саволлар, назорат саволлари, мустакил иш топшириклари ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати берилган.

Ушбу кўлланмада “Вакуум физикаси ва техникаси” фанининг вакуум хосил килишни назарияси ва технологиялари, ҳамда техникаси ҳакидаги материаллар берилган.

5140200 Физика бакалавриат таълим йўналишида тахсил олаётган талабаларга мўлжалланган ўқув-услубий кўлланма Ўзбекистон Миллий университети Ўқув-методик Кенгаши томонидан (– 2023 йил –сонли баённома асосида) нашрга тавсия этилган.

УЎК: 530.225:37.013(075.8)

КБК: 22.3+74.00я73

В 18

Маъсул мухаррир:  
К.А.Турсунметов – профессор

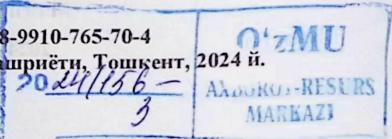
Тақризчилар:

Б.Е.Умурзаков – профессор  
Х.Б.Ашуров – профессор

O'zMU  
FIZIKA  
FAKULTETI  
ARM

ISBN: 978-9910-765-70-4

© “Ma’rifat” нашриёти, Тошкент, 2024 й.



## МУНДАРИЖА

<b>КИРИШ</b>	
I.БОБ. СИЙРАКЛАШТИРИЛГАН ГАЗЛАРНИНГ МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК ХОССАЛАРИ. ВАКУУМ ҲОСИЛ ҚИЛИШНИНГ АСОСИЙ НАЗАРИЯСИ	5 6
1.1. Системани термодинамик баён этишнинг асосий тушунчалари ва тасаввурлари. Молеклар кинетик назариянинг асосий тенгламаси.	6
1.2. Идеал газ ҳолат тенгламаси. Газ қонунлари	9
1.3. Паст босимларда газ молекулаларининг иссиқлик ўтказувчанлик хоссаларини ўзгариши.	12
1.4. Паст босимларда газ молекулаларининг оқиши	15
1.5. Тирқиши ва цилиндрик құвурларда газ массасининг оқими ҳамда улардагы ўтказувчанлик хусусиятлари.	19
1.6. Газ молекулаларининг ўртача эркін юғуриш йўли узунлиги	23
1.7. Газлардаги кўчиш коэффициентлари	26
1.8. Вакуум даражалари тўғрисида тушунча	27
<b>II.БОБ. ПАСТ БОСИМЛАР (ВАКУУМ) ҲОСИЛ ҚИЛИШ КУРИЛМАЛАРИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ.</b>	29
2.1. Вакуум насосларининг тавсифи.	29
2.2. Ҳаво сўриш тезлиги ва унумдорлиги.	32
2.3. Объектдан газ ҳайдаш ва насос ишлишининг тезлиги. Газ ҳайдовчи курилмаларнинг умумий хусусиятлари	34
<b>III.БОБ. ВАКУУМ НАСОСЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ, ТУЗИЛИШЛАРИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ.</b>	35
3.1. Вакуум ҳосил килувчи насосларининг умумий характеристикалари	35
3.2. Механик насосларнинг турлари, тузилишлари ва ишлиш принципи. Механик вакуум насослари	38
3.3. Ҳажмий насослар конструкцияси	40
3.4. Молекулар насослар	45
3.5. Диффузион насосларнинг турлари, тузилишлари ва ишлиш принципи	47
3.6. Эжекторли насослар	49
3.7. Диффузион насослар	50
3.8. Вакуум олишининг физико-кимёйиб методлари.	52
3.9. Ҳавони сўриб олишининг ионлардан фойдаланиш усули	53
3.10. Ҳавони сўриб олишда хемосорбцион усуллардан фойдаланиш	55
3.11. Буглатиш принципида ишлайдиган насослар конструкциялари	56
3.12. Криоген насослар конструкциялари	59
3.13. Ион-сорбцион насослар конструкциялари	62
3.14. Конденсацион (криоген) насослар ва агрегатлар	67
<b>IV.БОБ ТУТҚИЧЛАР.</b>	69
4.1. Тутқичларга қўйиладиган асосий талаблар	69

4.2 Адсорбентсиз тұтқиңлар	69
4.3 Адсорбцион тұтқиңлар	71
4.4 Термосорбцион тұтқиңлар	72
4.5. Электрик тұтқиңлар	73
<b>V. БОБ. ВАКУУМНИ ЎЛЧАШ ВА НАЗОРАТ ҚИЛИШ ҚУРИЛМАЛАРИННИҢ ТУРЛАРИ, ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПЛАРИ</b>	<b>76</b>
5.1 Паст босимларни (вакуумни) ўлчаш ва назорат қилиш усулари.	76
5.2 Вакуумни ўлчаш методлари ва асбобларининг классификацияси	79
5.3. Деформациялы вакуумметрлар. Компрессиялы вакуумметрлар	82
5.4. Иссиклик ўзгартыргичлари	85
5.5. Электрон - ионизациян вакуумметрлар	89
5.6. Магнитли - электроразрядлы вакуумметрлар	93
5.7. Радиоизотопли ўзгартыргичлар	96
5.8. Қолдук газлар парциал босимларини ўлчаш	98
5.9 Магнит газ таҳлил килгич (Масс-спектрометрлар)	101
5.10. Панорамали газ таҳлил килгич	102
5.11. Циклотронли газ таҳлил килгич (омегатрон)	104
5.12. Вакт бүйінча ўтувчи газ таҳлил килгичлар	105
5.13. Термодесорбцион масс-спектрометр	108
5.14. Оже спектрометр	110
<b>VI.БОБ. ВАКУУМ СИСТЕМАЛАРИ ВА ТЕЧЬ ҚИДИРИШ</b>	<b>111</b>
6.1 Ҳаво сизиб ўтишини аниклаш	113
6.2 Течь қидириш усуллари.	115
"Вакуум физикаси ва техникасы" фанидан лаборатория ишларига тайёрғарлых ва уларни бажарып бүйінча услугуби күрсатмалар	118
Вакуум физикаси ва техникаси фани бүйінча назорат саволлари ва тестлар тұтылами	129
<b>ГЛОССАРИЙ</b>	<b>154</b>
<b>ВАКУУМ ФИЗИКАСИ ВА ТЕХНИКАСИ ФАНИ БҮЙІЧА</b>	<b>156</b>
<b>МАСАЛАЛАР</b>	<b>184</b>
<b>ИЛОВАЛАР</b>	<b>198</b>
<b>АДАБИЁТЛАР РҮЙХАТИ</b>	<b></b>

## Кириш

Замонавий микроЭлектроника, радиоэлектроника, компьютер техникиаси, уяли аюла телефонлари, медицинада қўлланадиган асбоб-ускуналар, турмушдаги майший техника асбоб-ускуналаридаги ва бошқа соҳаларда сифатли, чидамли, мустаҳкам ва арzon эҳтиёт қисмларга бўлган талаб ортиб бормоқда. Бундай талабларни қондириш учун, турли йўналишларда илмий изланишлар ва тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бундай изланишларни айникса, эҳтиёт қисмлар тайерлашда, ҳар хил чет аралашмаларни камайтириш максадида, ҳавоси камайтирилган, сийраклаштирилган, яъни паст босимлар-вакуум ҳосил қилинган шароитларда олиб бориш жуда яхши, самарали натижалар берди. Бу эса, ўз навбатида, маҳсус катта ҳажмли курилмаларда паст босимли (юкори вакуумли) шароитларни юзага келтириш ва фойдаланиш масаласини кўяди. Бу масалани ҳал қилиш учун, вакуум ҳосил қилиш назариясини яхши ўзлаштириш, вакуум техникиаси ва технологияларининг пухта билиш талаб қилинади. Шу билан бирга, ҳосил қилинган вакуумни ушлаб туриш, саклаб туриш, ташки атмосферадан идиш ичига ҳаво ёки бошқа газларни сизиб киришига йўл қўймаслик чора-тадбирларини амалга ошириш зарур. Чунки, бу биринчидан, курилмалар ичига ташқаридан газларни сизиб кириши натижасида, курилмалар ичидаги вакуум даражасини кескин пасайтириб юборади. Иккинчидан, курилмалар ичига сизиб кириб борган газ молекулалари, вакуум шароитида, тайёрланаеттан материалларнинг сирти ва сиртига якин соҳаларга, кристалл панжарасига, диффузия натижасида кириб бориб, зарарли киришмаларнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Бу киришмалар тайёрланаётган материалнинг сифатини бузади. Бу эса, ўз навбатида, курилмалар ичизда ҳосил қилинган вакуум даражасини донимий назорат килиб бориш зарурлигини кўрсатади. Бу вазифани вакуумметр деб аталадиган курилмалар ёрдамида амалга оширилади.

Ушбу қўлланмада вакуум ҳосил қилиш назариясининг элементлари, вакуум техникиаси ва технологиялари, вакуумни ўлчаш, вакуумни сақлаш ва назорат қилиш ҳақидаги материаллар баён қилинган.

## **1.Боб. Сийраклаштирилган газларнинг молекуляр-кинетик хоссалари. Вакуум ҳосил қилишининг асосий назарияси.**

Одатда вакуум деганды газларнинг атмосфера босимидан паст босимлардаги ҳолати тушунилади. Лекин физик нұктан назардан вакуум сийраклаштирилган газнинг сифат жиҳатдан янги хусусиятларни намоён кила бошлашидан бошланади. Масалан, газ босими камая бориши билан унинг иссиклик үтказувчанлык коэффициенти дастлаб ўзгармай қолади, кейинчалик маълум бир босимдан бошлаб босимга пропорционал равища ўзгара бошлади. Газнинг бу янги ҳолатига вакуум дейилади.

Ҳар кандай сиртлар билан чегараланган фазо бевосита ҳажмда ёки сиртга адсорбцияланган боғланган газларда бирор микдордаги эркін газ микдорига эта бўлади. Адсорбцияланган газ заррачалари сиртдан девор материалига диффузияланади(адсорбцияланади) ва унинг ичида ҳаракатланиши мумкин. Мувозанат ҳолатида эркін газ молекулалари(атомлари) адсорбцияланган ҳолатда тескари жараёнда десорбцияланадиган заррачалар билан мувозанат ҳолатида бўлади.

### **1.1. Системани термодинамик баён этишининг асосий тушунчалари ва тасаввурлари. Молекляр кинетик назариянинг асосий тенгламаси.**

Термодинамикада физик жисм ўрганиш обьекти хисобланади ва унга система деб юритилади. Аксарият ҳолларда термодинамик системанинг иссиклик деб аталувчи ҳолатини мувозанатли босим ҳарakterлайди. Бу  $P$  босим атроф мухитдаги жисмлар таъсирига, система массасига, унинг ҳажми ва ҳароратига боғлиқдир.  $P, V, T$  катталиклар система параметрлари хисобланади. Шундай килниб, температура ва босим жисм иссиклик ҳолатини аникловчи параметрлар хисобланади.

Тажрибада Ҳалкаро амалий температура шкаласидан фойдаланилиб, унда температура Цельсий ёки Кельвин градусларida ўлчанади. Цельсий шкаласи бўйича музнинг эрини температураси (сувнинг музлаш температураси)  $0^{\circ}S$ , сувнинг қайнаш температураси esa  $100^{\circ}C$ .

ХБТ системасида босим  $N/m^2$  (Паскал) ларда аникланади, СГС бирликлар системасида  $дин/см^2$  ларда ўлчанади ( $1\text{ Pa}=10\text{ дин}/\text{см}^2$ ). Аксарият ҳолларда босим нормал атмосфераларда (*atm*) ва 1 мм. сим. уст. ларидаги ўлчанади:

$$1\text{ atm}=101325\text{ Pa}, \quad 1\text{ mm. сим. уст. }=133,322\text{ Pa}$$

Барча қисмлари бир хил ҳолатларга эта системаларга бир жинсли

системалар деб юритилади.

Термодинамик системаларнинг бир жинсли дейилади. Моддалар агрегат ҳолатларининг турили кўринишларига кўра газ, суюқ ва қаттиқ фазаларида мавжуд бўлиши мумкин.

Ҳар кандай модданинг уч агрегат ҳолатидан энг соддаси унинг газсимон ҳолатидир, чунки бу ҳолатда молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучлари жуда кичик бўлиб уларни баъзи холларда умуман эътиборга олмаслик мумкин. Шу сабабли молекуляр физикани баён килишини биз газларнингумумий хоссаларини ўрганишдан бошлаймиз. Бундай биз дастлаб молекулаларро кучларни ва молекулаларнинг хусусий хажмларини (улчамларини) ҳисобга олмаймиз, яъни газни ўзаро таъсирилашмайдиган моддий нукталар тўплами деб оламиз. Бундай газга идеал газ деб юритилади.

Юкорида айтиб ўтилганидек газ ҳолатини аниқловчи асосий параметрлардан бири унинг **босими**дир. Чунки газ ўзи турган идиш деворларига босим бериш хоссаси билан ўзининг мавжудлигини намоён килади. Газнинг идиш деворларига берадиган босими газ молекулаларининг идиш деворлари билан чексиз ўзаро тўқнашувлари натижасидир. Гарчи ҳар бир алоҳида олинган тўқнашув вақтида девор молекулалари билан ўзаро таъсир кучлари номаълум бўлса ҳам, газнинг барча молекулаларини биргаликда таъсир қилгандаги ўртача кучини у орқалиларига берадиган босимини аниқлаш мумкин. Молекуляр кинетик назария идеал газларнинг босими учун қуйидаги ифодани беради:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{G}^2 \quad (1.1)$$

бу ерда  $m_0$  – молекуланинг массаси,  $n$  – ҳажм бирлигидаги молекулалар сони,  $\sqrt{\bar{G}^2}$  – газ молекулаларининг ўртача квадратик тезлиги. (1) ифоданинг ўнг томонини иккига кўпайтириб ва бўлиб қуйидагини оламиз:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{G}^2}{2} \quad (1.2)$$

формуладаги  $\frac{m_0 \bar{G}^2}{2}$  – катталик битта газ молекуласининг ўртача кинетик энергиясини билдиради. Демак, идеал газнинг босими ҳажм бирлигидаги газ молекулалари кинетик энергиясининг учдан икки кисмiga teng экан. (1.1) tengлама кўпинчча идеал газлар молекуляр кинетик назариясининг асосий tengламаси деб юритилади.

Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, газ босими газнинг кўп сондаги молекулалардан ташкил топганилиги билан боғлиқ бўлган, уни бутунлигича характерловчи, бевосита тажрибада ўлчанадиган статистик маънога эга бўлган макроскопик карталикдир. Шу сабабли, бир ёки бир неча молекула хосил қилган босим ҳақида гапириш маънога эга эмас.

Газ ҳолатидаги модданинг хоссалари, айниқса жуда катта босим ва унча кичик бўлмаган температураларда анча оддий. Масалан, бир хил бошлангич босим ва температура шароитда олинган  $O_2$ ,  $N_2$  ва  $H_2$  каби газлар катта босим (100 атм. дан катта) ларда сикилувчанлиги ва иссикликтан кенгайиши бўйича бир-бираидан фарқ қиласди. Атмосфера 1 атм га якинлашганда газлардаги бу фарқ камайиб кетади. Шу сабабли реал газларнинг чегаравий ҳолати каби идеал газ тушунчаси киритилган.

Атмосфера босимидан деярли фарқ қилмайдиган босимларда айниқса водород ва гелий газлари идеал газга яхин.

Идеал газ хоссаларининг умумийлиги шу билан тушунтирилади, ўлчамлари ва ўзаро таъсир кучларига боғлиқ бўлган турли модда молекулаларининг индивидуал хусусиятлари газ кучли сираклаштирилганда модданинг термик хусусиятларига боғлиқ бўлмай колади.

Масса ўзгармас бўлган ҳолда  $P, V, T$  лар ташкил таъсирлар (механик, иссилик ва хоказо) натижасида ўзгариши мумкин. Агар физик ҳолатлари бўйича бир жинсли бўлиб, унда ҳеч кандай кимёвий реакциялар бормаётган бўлса, параметрлардан бирининг ўзгариши натижасида бошка параметрларнинг ўзгариши содир бўлади. Бир жинсли системанинг параметрлари (масса доимий бўлганда) бир-бираига функционал боғлиқ бўлади:

$$f(p, V, t) = 0 \quad (1.3)$$

Бу (1.3) тенгламага системанинг термодинамик ҳолат тенгламаси ёки оддий қилиб, ҳолат тенгламаси деб аталади. Бу тенгламани топиш молекуляр физиканинг асосий масалаларидан бири хисобланади.

Молекуляр кинетик назария асосида молекулалараро ўзаро таъсирни хисобга олмаган ҳолда сираклаштирилган (идеал) газ учун ҳолат тенгламаси топилади.

## 1.2. Идеал газ ҳолат тенгламаси. Газ қонуулари

Эркин газ атмосфера босимидан паст босимларда хусусияти жиһатидан идеаль газга якин бўлиб, унинг ҳолати Менделеев – Клапейрон тенгламасига бўйсунади:

$$PV = RT \quad (1.4)$$

ёки

$$P=nkT \quad (1.5)$$

бу ерда  $P$ -босим, Па;  $V$ - ҳажм;  $R$ -универсал газ доимийси,  $R=8314 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{К})$ ;  $T$ -абсолют температура;  $k$ - Больцман доимийси,  $k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ ;  $n$ -концентрация, ҳажм бирлигидаги молекулалар сони.

в моль газ учун Менделеев – Клапейрон тенгламаси қўйидаги кўринишни олади:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1.6)$$

бу ерда  $V$ - газ жойлашган идиш ҳажми.

(1.6) тенгламадан қўйидаги келиб чиқади:

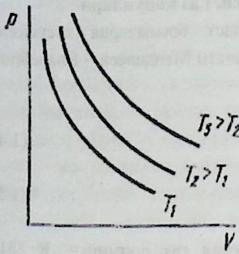
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1.7)$$

ва хусусий ҳолда бу уч параметр ( $P, V, T$ ) дан бири ўзгармай қолганда колган иккаласи бир-бираига боғлик ҳолда ўзгаради. Бу ҳодисага термодинамикада изожараёнлар деб юритилади.

а) изотермик жараён. Бойль – Мариотт қонуни.

Ўзгармас температурада борадиган газ жараёнига **изотермик жараён** дейилади. Изотермик жараёнда газ босимининг газ ҳажмига боғликлигини англиялик олим Р.Бойль (1627—1691) ва франциялик олим Э.Мариотт (1620—1684), бир-бираига боғлик бўлмаган ҳолда, 1667 йилда экспериментал тарзда топдилар. **Boyl-Mariott қонуни**: изотермик жараёнда берилган газ массаси учун газ босимининг унинг ҳажмига кўпайтмаси ўзгармас катталикдир:

$$PV = \text{const} \quad (1.8)$$



Газнинг ихтиёрий икки ҳолати учун Бойль-Мариотт қонуни  $P_1V_1 = P_2V_2$  ёки  $PV = P_0V_0$  кўринишида ёзилиши мумкин. Бу ерда  $V_0$  — нормал босим ( $P_0=1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ) шароитида берилган газ массасининг ҳажми.

$P, V$  координаталарда изотермик жараён графиги эгри чизикдан иборат. Бу эгри чизикка **изотерма** деб аталади.

### 1.1.Расм.

Температура ошиши билан  $T_2 > T_1$ ,  $T_3 > T_2$  изотерма чизиги юкорига кўтарилади.

#### б) изобарик жараён. Гей – Люссак қонуни.

Ўзгармас босим шароитида борадиган газ жараёнига изобарик жараён дейилади. Агар газ ҳажми  $T_0=273 \text{ K}$  температурада  $V_0$ ,  $T$  температурада эса  $V$  бўлса, у ҳолда газларнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 \Delta T} \quad (1.9)$$

формула билан аниқланади.

Газларнинг иссиқликдан кенгайшини ўргана туриб франциялик олим Гей-Люссак (1778—1850) 1802-йилда доимий босимда газларнинг иссиқликдан кенгайиш коэффициентининг барча газлар учун бир хил ва

$$\beta = \frac{1}{273} K^{-1}$$

га тенглигини аниқлади.

Бу Гей-Люссак қонунини таърифлаш имконини беради: доимий босимда газларнинг бирор берилган массасини  $1 \text{ K}$  га киздиришида бу майдордаги газнинг ҳажми  $T_0=273 \text{ K}$  даги газ ҳажмидан  $1/273$  га ортади.

Гей-Люссак қонунидан кўриниб турибдикни,  $T_0$  температурадаги газнинг ҳажми  $V_0$  ни билган ҳолда,  $T$  температурадаги газнинг ҳажми  $V$  ни аниқлаш мумкин:

$$V = V_0(1 + \beta \Delta T)$$

$T_0=273$  K,  $\beta=(1/273)K^{-1}$  әкәнлигини ҳисобга олган ҳолда, иихтиёрий температурадаги газ ҳажмини аниқлашмиз мүмкін:

$$V = V_o \beta \Delta T \quad (1.10)$$

ёки

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

$V, T$  координаталарда изобарик жараён графиги түғри өзіндікден изборат. Бу түғри өзіндікка изобара өзінің дейилді.

Босим ортиши билан  $P_2 > P_1$ ,  $P_3 > P_2$  изотерма өзінің күорига күтарилады.

### c) изохорик жараён. Шарль қонуни.

Үзгартас босим шаронтыда борадиган газ жараённега изохорик жараён дейилді. Тажрибалар шуны күрсатады, изохорик жараёнда газ босими температура ортиши билан ортар экан. Турли газларнинг иситилған ҳолдагы босимларини үлчаб франциялық олим Ж.Шарль (1746—1823) 1787-йилда қуидагы қонунияттың ўрнатады: үзгартас ҳажмда газ босимио'згартас  $hajmda gaz bosimi I K$  га иситилғанда  $T_0=273$  K температурадаги босимдан  $1/273$  қийматта ортади.

Газ  $I K$  га иситилғанда босим қанчага күтталашышины күрсатувчи  $\gamma$  коэффициентта босимнинг термик коэффициенті дейилді:

$$\gamma = \frac{P - P_0}{P_0 \Delta T} \quad (1.11)$$

Бу ерда  $P_0$   $P$  лар газнинг  $T_0$  ва  $T$  температуралардаги босимларидір.

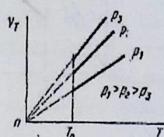
Босимнинг термик коэффициенті  $\gamma$  барча газлар учун бир хил ва

$$\gamma = \frac{1}{273} K^{-1}$$

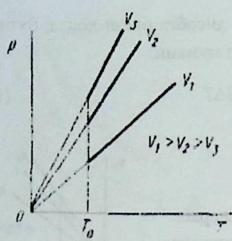
га тенглиги аникланған.

$T_0$  температурадаги газнинг босими  $P_0$  ни билған ҳолда,  $T$  температурадаги газнинг босими  $P$  ни аниклаш мүмкін:

$$P = P_0(1 + \gamma \Delta T) \quad (1.12)$$



1.2.Расм.

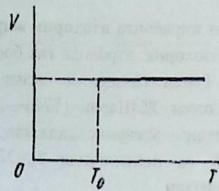


1.3.Расм.

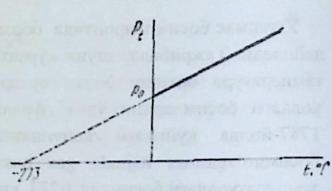
$T_0 = 273 \text{ K}$  ва  $\gamma = (1/273) \text{ K}^{-1}$  лигини хисобга олган ҳолда газнинг босими  $P = P_0$  ёки  $P/P_0 = T/T_0$  дейиш мумкин.

Доимий ҳажмда газ босимининг температурага боғлиқлиги графиги 7-расмда келтирилган.

8-расмда  $V, T$  координатада изохорик жараён графиги  $T$  ўкка параллель түғри чизик орқали келтирилган.



1.4. Расм



1.5. Расм

9-расмда Шарль қонунининг график кўриниши келтирилган.

Газ қонунларини караб чиккандан сўнг, идеал газга қўйнагича ҳам таъриф бериш мумкин: газ қонунларига тўла бўйсунувчи газларга идеал газ дейилади.

### 1.3. Паст босимларда газ молекулаларининг иссиқлик ўтказувчаник хоссаларини ўзгариши.

Вакуум яни, хавоси сўрилган, газ молекулалари сийраклаштирилган шаронгта эга бўлган ҳолат, ҳажми чекланган маҳсус идишларда ёки қурималarda юзага келтирилади. Вакуум хосил килиш учун, хаво сўрадиган насослар, резина ёки металл кувурлар (нейлар), кувурларни

уловчи мосламалар, очқич ёки ёпқич мосламалардан иборат бўлиб, жуда мустахкам, ташқаридан ҳаво ўтказмайдиган, ёпик, берк курилмалар йигилади. Курилмаларда асосий фойдаланиладиган кисм - ишчи камера деб аталади. Ишчи камерага материаллар ўрнатиладиган мосламалар, вакуум даражасини ўлчаш учун ишлатиладиган манометрлар, ишчи камерадаги қолдик газ составини аниклаш учун зарур бўлган масс-спектрометрлар, термопаралар ва бошқа кўшимча асбоб-ускуналар монтаж қилинади, ўрнатилади. Ишчи камера резина ёки металл кувурлар ёрдамида вакуум ҳосил қиливчи насосларга уланиб, берк система ёки вакуум системаси ҳосил қилинади.

Вакуум ҳосил қилиш жараёни, берк система ичидаги газ молекулаларининг молекуляр-кинетик хоссаларига боғлик бўлади. Газларнинг молекуляр-кинетик хоссаларини белгиловчи катталикларга, уларнинг масаси, босими, эталлаган хажми, температураси, тезлиги, энергияси, эркин югуриши йўлининг узунлиги, диффузияси, иссиқлик ўтказувчаник қобилияти, ковушқоклиги ва бошқа катталиклари киради.

Курилмалар ичидан ҳаво сўриши бошланиши билан, газ молекулалари сийраклаша бошлади, курилма ичидан ташки атмосферага қараб, газ молекулаларининг оқими юзага келади. Бизга маълумки, суюқлик ва газларнинг оқими турбулент, ламинар (ковушкок) ёки молекуляр бўлиши мумкин. Газнинг турбулент оқими катта босимларда ва катта тезликларда кузатилади. Аммо, реал вакуум системаларида у кисқа ваqt давомида бўлиб, умумий сўриб олиш муддатининг жуда кичик қисмини ташкил килади.

Газ босими пасайиши натижасида, газлар молекулаларининг аралашини тўхтаб, оқувчи мухит бир-бирида турли тезликларда сирпанаётган алоҳида қатламларга ажралади. Газнинг ламинар оқими кузатилади. Бунда ҳали, молекулаларнинг ўртача эркин югуриши йўлининг узунлиги, кувурнинг кўнгдаланг кесим ўлчамларига нисбатан кичик бўлади. Бу газ оқимининг режимида ички ишқаланиш, яъни газнинг ковушқоклиги ҳал қиливчи аҳамиятга эга эканлигидан, вакуум техникасида ламинар оқим ёки ковушкок оқим деб ажратилади.

Газнинг босими янада пасайиб, молекулаларнинг ўртача эркин югуриши йўлининг узунлиги орта бориб, ниҳоят қувурнинг кўнгдаланг кесим ўлчамлари билан бир тартибда бўлганда, газнинг молекуляр оқими кузатилади. Бунда ички ишқаланишнинг таъсири камаяди, чунки газ молекулалари бир бири билан жуда кам тўқнашади ва асосан кувурнинг

деворлари билан таъсирлашади. Кувурнинг ўлчами ва шакли ўзгармас бўлганда, газ оқимининг ковушқоқ режимдан молекуляр режимга ўтиши факат кувурдаги газ босимига боғлик бўлади.

Газ молекулалари сийраклашган ҳолларда, уларнинг баъзи бир молекуляр-кинетик хоссалари нормал шароитлардагига караганда ўзгаради. Бунда, биринчидан, курилмалар ичидаги босим камайди, иккинчидан, газ молекулаларининг ўзаро тўкнашиши камайди, учинчидан, молекулаларнинг ўртача эркин югуриши йўли узунлиги ортади. Етарлича юкори вакуум хосил килинганди, колдик газ молекулаларининг эркин югуриши йўли узунлиги, курилма ишчи камерасининг ўлчамларидан катта бўлган кийматларга эришади. Бундай паст босимларда газ молекулалари деярли ўзаро тўқнашмайди деб хисоблаш мумкин. Газ молекулалари факат ишчи камера ва кувурлар деворлари билан тўқнашади. Газ молекулаларининг курилма деворларини иссиқрок кисмига урилган кисми энергия олади, совукрок кисмига урилган кисми энергия беради. Бу жараёнлар натижасида иссиқлик узатиш юзага келади. Одатдаги шароитларда, температура градиенти хисобига мавжуд бўладиган иссиқлик ўтказувчанлик хоссаси, вакуумда, иссиқлик узатиш тушунчаси билан алмашинади. Одатдаги шароитларда, газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти босимига боғлик бўлмайди. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти кўйидагича аникланади:

$$k = \frac{1}{3} \rho v \lambda c_v \quad (1.13)$$

бу ерда,  $k$  - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти,  $\rho$  - газларнинг зичлиги,  $v$  - молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги,  $\lambda$  - молекулаларнинг эркин югуриши йўли узунлиги,  $c_v$  - ўзгармас хажмдаги иссиқлик сигими.

Паст босимларда, яъни вакуум холатида (1.13) ифода кўйидаги кўринишга келади:

$$k = \frac{1}{2} \frac{\rho}{R T} v c_v d \quad (1.14)$$

кўринишга келади. Бу ифодадан кўринадики, вакуум шаронтида, газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти курилма ичидаги газ босимига пропорционал бўлади. Бу ифодада  $P$  - газнинг босими,  $R$  - универсал газ доимийси,  $T$  - абсолют температура,  $d$  - ишчи камера деворлари орасидаги масофа.

Вакуум шаронтида, иссиқлик узатиш жараёнини камайиши муҳим аҳамиятта эга бўлади. Чунки, курилмалар ичиза колган оз микдордаги газ

молекулалари ҳам, етарлича катта миқдордаги иссиқликни узатиши мүмкін. Бу эса, паст температурали суюкликларни саклашда күлланиладиган Дьюар идишларida ва манометрик лампаларда ўз аксими топган. Дьюар идишларida суюлтирилган азот (температураси  $T = -196$  С) ва суюлтирилган гелий (температураси  $T = -269$  С) сакланади. Бундай паст температурали идиш деворларига келиб уриладиган молекулалар сони жуда ҳам бўлиши лозим. Чунки, ҳар бир молекула идиш деворлари билан тўкнашганда, ўзининг кинетик энергиясини идиш деворларига узатади. Идиш деворлари эса, бу энергияни иссиқлик энергияси кўринишида идиш ичидаги суюкликка узатади. Натижада, идиш ичидаги паст температурали суюқ азот ёки гелий жуда тез буғланади, яъни истроф бўлади. Шунинг учун, Дьюар идишининг асосий корпуси билан, паст температурали суюқ азот ёки гелий сакланадиган ички корпуси орасида ҳаво молекулалари жуда ҳам бўлиши керак, яъни юкори вакуум бўлиши керак. Шу ҳолдагина иссиқлик узатиш кескин камаяди.

Курилмалар ичидаги вакуумни ўлчашда иссиқлик манометрларидан фойдаланилади. Бу манометрнинг ишлаш принципи, вакуум олинадиган курилмалар ичидаги босимни ўлчашга, яъни иссиқлик ўтказувчаникнинг босимга боғлигига асосланади.

#### 1.4. Паст босимларда газ молекулаларининг оқими

Газ молекулалари нормал шароитда тартибсиз, хаотик ҳаракатда бўлади. Газ молекулаларининг ўзаро таъсири, молекулалар бир – бири билан ёки ички деворлари билан тўкнашганда юзага келади. Босим ўзгариши, яъни курилмалар ичida вакуум хосил қилиш бошланishi билан молекулаларнинг оқими юзага келади. Оқим пайдо бўлиши эса газ молекулалари хаотик ҳаракатининг нисбатан тартибли ҳаракатга айланishiга олиб келади. Газ молекулаларининг оқими турбулент, ламинар ва молекуляр оқимларга бўлинади. Нормал шароитлардаги оқим, ламинар оқим хисобланади. Бу ҳолда, асосан, газ молекулаларининг ўзаро тўкнашиши устун бўлади. Паст босимлар хосил қилинганда, яъни вакуум хосил қилинганда, курилмалар ичida газ молекулаларининг ўзаро тўкнашиши жуда кам бўлиб, асосий тўкнашишлар курилмаларнинг ички деворлари билан бўлади. Бундай шароитларда юзага келган оқим, молекуляр оқим хисобланади. Вакуум хосил қилишнинг дастлабки

боскичидаги ламинар оқим аста – секин, вакт ўтиши билан молекуляр оқимга айланади.

Молекулалар орасида тўқнашувлар бўлмагандан, ҳавоси сўрилаётган курилмалар ичдан, газ молекулаларининг ташқарига оқиши, бир карашда, курилмалар ичдаги турли қисмларда газнинг босимлар фарқига боғлиқ эмасдек туюлади. Ҳакиқатан ҳам, курилманинг бирор деворидан иккинчи деворига эркин учуб ўтиб тўқнашувчи молекула, бошқа молекулалар томонидан хеч қандай таъсирга дуч келмайди. Шунинг учун, курилманинг бирор кисмида газ молекулаларининг зичлиги (хажм бирлигидаги молекулалар сони) ўзгармаслиги керак эди. Бошқача килиб айтганда, курилмалар ичдаги босимнинг ўзгаришидан молекулаларнинг ҳаракат йўналиши ўзгармайди. Бирок, тажрибаларнинг кўрсатишича, молекуляр оқимда ҳам, газ молекулаларининг хаотик ҳаракати сакланиб колар экан. Шу сабабли, молекулаларнинг маълум бир кисми оқимга тескари йўналишда ҳаракатланиши мумкин деган хуноса келиб чиқади. Бу эса, ўз навбатида молекуляр оқимда ҳам, курилмалар ичда босимлар фарқи бор деб фараз килиш мумкинligини аниқлаш мумкин. Курилманинг бир кисмидан иккинчи кисмiga F – юзали сирт (тириш) оркали вакт бирлиги ичда оқиб ўтувчи газ молекулаларининг сони қуйндагича хисобланади:

$$N = \frac{1}{4} \vec{\beta} \frac{\Delta P}{kT} F \quad (1.15)$$

бу ерда  $\vec{\beta}$  – молекулалар иссилик ҳаракатининг ўртача тезлиги,  $\Delta P$  – курилма қисмларидаги босимлар фарқи,  $k$  – Больцман доимийси,  $T$  – абсолют температура,  $F$  – тириш кўндаланг кесим юзаси.

Бирлик вакт ичда, тиришдан оқиб ўтган газнинг массаси:

$$M = mN = \frac{1}{4} \vec{\beta} \frac{m}{kT} F \Delta P \quad (1.11)$$

қийматта тенг бўлади, бу ерда  $m$  – битта молекуланинг массаси.

Курилманинг тиришидан вакт бирлиги ичда оқиб ўтаётган газни масса хисобида эмас, молекуляр оғирлик хисобида ифодаласак

$$Q = \frac{M}{\mu} = \frac{1}{4} \vec{g} \frac{F}{RT} \Delta P \quad (1.16)$$

келиб чиқади. Олинган ифодадаги  $\vec{g}$  - молекулаларнинг иссилик харакат ўртаса тезлигини  $\vec{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$  қиймат билан алмаштириш натижасида күйидаги муносабатни оламиз:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu RT}} F \Delta P \quad (1.17)$$

Бу ифодага киругчи  $F$  ва  $P$  катталикларни тажрибалардан аниқлаш мумкин. Бу эса, тажрибалар ёрдамида, вакт бирлиги ичida  $S$ -кўндаланг кесимли тиркиш орқали оқиб ўтувчи газ микдорини аниқлаш имконини беради.

Вакуум хосил килинаётганда, қурилмалар ичидаги газ молекулаларнинг оқими юзага келади. Бу оқимни, турли хилдаги ҳавони сўриб олуви қурилмалар, яъни вакуум насослари ёрдамида амалга ошириш мумкин. Бу ҳолда оқим, ўз навбатида вакуум насосларининг баъзи бир характеристикаларига кучли боғник бўлади. Вакуум хосил килинаётган қурилмалар ичидан ташкарига, газ молекулаларини чиқариб юбориша, насосларнинг асосий характеристикаларидан бири, қурилмалар ичидаги ҳавони сўриш тезлиги хисобланади. Насосларнинг сўриш тезлиги ( $S$ ) – деб, ихтиёрий  $V$ -ҳажмдан бирлик вакт ичida сўриб, ташкарига чиқариб ташланган ҳаво оқимига айтилади.

Насосларнинг сўриш тезлиги ўзгармас бўлади. Агар, насос ишга туширилганда, қурилма ичидаги босим  $P$  бўлса, у ҳолда,

$$Q = SP \quad (1.18)$$

ва бу катталикка насоснинг ишлаш унумдорлиги деб аталади. Қурилмалар ичидаги ҳаво сўрилиб, босим камайса, насоснинг иш унумдорлиги ҳам пасаяди, яъни босим канча паст бўлса, насоснинг қурилма ичидан сўриб чиқарадиган ҳаво оқими ҳам камайди. Бунда, насоснинг сўриш тезлиги  $S$ , қурилма ичидаги  $P$  босимнинг функцияси бўлиб колади. Бу жараённи кўйидагича тушунтириш мумкин: сўриш жараёнида, кўйидагилар қурилма ичida ҳаво (газ) манбай бўлади деб хисоблаш мумкин:

1.  $Q_q$  – десорбция натижасида қурилма деворларидан ажралиб чиқадиган ҳаво (газ) оқими;

2.  $Q_n$  - ташкаридан, турли хил тиркишлардан ва курилма деворларидан сизиб кириб келадиган ҳаво (газ) оқими;
3.  $Q_a$  - насос сүраёттан кувурлардан курилма ичига қайтиб кираётган ҳаво (газ) оқими;

Бу уч ташкил этувчиларни катталикни эътиборга олиб, насос ёрдамида, курилма ичидаги ҳавони (газ) сўриб олиш тенгламасини қўйидагича ёзишимиз мумкин:

$$-VdP = dt(SP - Q_n - Q_a - Q_g) \quad (1.19)$$

бу ерда, (1.19) тенглама чап томонидаги минус ишора курилма ичидаги  $dP$  босимнинг камайшини кўрсатади. Бу жараён, яъни сўриш жараёнидаги оқим, маълум бир  $dt$  вактдан сўнг мувозанатлашади, яъни насос сўриб чикариб юбораётган ҳаво (газ) микдори  $Q_g$ ,  $Q_n$  ва  $Q_a$  - оқим микдорлари билан тенглашади. Натижада, курилма ичидаги  $P$  - босим, насоснинг кейинги сўриш давомида ўзгармай колади. Курилма ичидаги  $P$  босим чегаравий  $P_s$  босим кийматига эришади. Бошкача қилиб айтганда,  $\frac{dP}{dt} = 0$  бўлиб колади, яъни насоснинг бундан кейинги сўриш вактининг кандай бўлишидан катъий назар курилма ичидаги  $P_s$  - босим ўзгармай колади.

(1.19) ифодани соддалаштириб қўйидаги тенгламани оламиз:

$$SP = Q_n + Q_a + Q_g \quad (1.20)$$

Бу олинган муносабат орқали насоснинг сўриш тезлиги қўйидагича аникланади:

$$S = \frac{\sum Q}{P_s} \quad (1.21)$$

бу ерда,  $\sum Q$  - курилма ичига йўналган оқимлар йигинидиси.

(1.20) ва (1.21) ифодалардан фойдаланиб, насоснинг эффектив сўриш тезлигини аниклаш мумкин:

$$S_{\phi} P = SP - \sum Q = SP - SP_s = S(P - P_s) \quad (1.22)$$

Бу тенгламани соддалаштириб қўйидагини оламиз:

$$S_{\phi} = S(1 - \frac{P_n}{P}) \quad (1.23)$$

Бу ерда  $S_{\phi}$  - босим функцияси бўлиб, курилма ичидаги чегаравий босимда нолга тенг бўлиб қолади.

Агар, вакуум хосил килинаётган қурилмада ёки идишда,  $Q_n$  - жуда кичик ( $Q_n \rightarrow 0$ ) деб олинса, яъни сизиб кираётган ҳаво оқими мавжуд эмас деб қаралса, курилма ичидаги босимнинг  $P_n$  - чегаравий қиймати  $Q_n$  - ва  $Q_n$ -катталикларга боғлик бўлиб қолади. Насоснинг ҳавони сўриб олиш жараёнида,  $Q_n$  ва  $Q_n$  - оқимлар, вақт ўтиши билан секин ўзгаради. Шунинг сабабли, шундай вақт интервалини танлаб олиш мумкинки,  $Q_n$  ва  $Q_n$  - оқимлар доимий бўлиб қолсин. Бундай ҳолда,  $S$  ни доимий деб хисоблаб (1.20) тенгламани интеграллаш мумкин ва (1.14) ифодани эътиборга олиб, бაъзи алмаштиришларни амалга оширгандан сўнг куйидаги муносабат келиб чиқади:

$$P = (P_0 - P_n)e^{-\frac{S}{Vt}} \quad (1.24)$$

ёки  $t = 0$  вақтдаги босимни  $P_0$  деб олсак

$$P = P_0 e^{-\frac{S}{Vt}} + P_n \quad (1.25)$$

муносабатни оламиз. Агарда  $S$  сўриш тезлигига эга бўлган насос ёрдамида  $C$  ўтказувчаникка эга бўлган қувурлар орқали уланган вакуум қурилмасидан ҳавони сўриб олинаётган бўлса, бутун системадан ҳавони сўриб олиш тезлиги куйидагича аниқланади:

$$S_e = \frac{SC}{S+C} \quad (1.26)$$

Олинган ифодадан кўринадики, қурилмаларда ёки вакуум камераларида вакуум хосил қилишда молекулаларнинг оқиши учун  $C$  - ўтказувчаник қиймати етарлича катта бўлиши талаб килинади экан. Ўтказувчаник канча катта бўлса, ишчи камерада молекулаларнинг оқими шунча камаршиликка учрайди ва вакуум хосил қилиш жараёни сезиларли равишда енгиллашади.

### 1.5. Тирқиши ва цилиндрик қувурларда газ массасининг оқими ҳамда улардаги ўтказувчаник хусусиятлари.

Ишчи камера ичida вакуум хосил қилиш учун, камера қисмлари ўзаро цилиндрик шаклдаги резина ёки металл қувурлар билан уланади (бириктирилади). Бириктириш (уланиш) жойларига маҳсус тайёrlанган

очкичлар (вентеллар) ўрнатилади. Қувурлар ва очкичларнинг радиуслари хамда диаметлари турли хил бўлиши мумкин. Бу эса, қурилмалар ичидаги ҳавони сўриб, ташқарига чиқариб юборишда мухим роль ўйнайди. Шу сабабли, қувурлар ва очкичлар ўлчамларини аниқ билиш мухим ахамият касб этади.

Курилмаларда вакуум ҳосил килиш жараёнида юзага келадиган  $Q$  оқим газ ҳажмининг ўзгариш тезлиги орқали аникланди:

$$Q = P \frac{dV}{dt} \quad (1.27)$$

Аксарият ҳолларда, газ оқими ўрнига, оқим массаси ёки газ молекулаларининг сони катталикларидан фойдаланилади. Бунда, узуғлиги  $l$  ва радиус  $r$  бўлган цилиндрик қувурдан вакт бирлиги ичida оқиб ўтаган газнинг миқдори куйидагига тенг бўлади:

$$Q = \frac{2}{3} \frac{\vartheta}{RT} \frac{r}{l} F \Delta P \quad (1.28)$$

Газ молекулаларининг тезлиги  $\vartheta = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$  эканлигини эътиборга олсак,

(1.28) ифода куйидаги кўринишига келади:

$$Q = \frac{8\pi}{3} \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu RT}} \frac{r^3}{l} \Delta P \quad (1.29)$$

Олинган ифодадан кўринадики, вакуум ҳосил килишда, цилиндрик қувурлардан оқаётган газнинг миқдори, одатдаги шаронтлардаги газ оқими миқдоридан фарқ қиласди. Вакуум ҳосил килишда, қурилмалар ичida, газларнинг молекуляр оқими юзага келади. Демак, (1.29) ифодага кўра, молекуляр оқимда, вакт бирлиги ичida, цилиндрик қувурлар ва очкичларнинг тиркишларидан оқиб ўтган газ миқдори, газ молекулаларининг иссиқлик ҳаракат тезлигига хамда цилиндрик қувурлар ва очкич тиркишларининг ўлчамларига боғлик бўлар экан. Бунинг натижасида қурилмаларда вакуум олиш жараёнида, қурилма кисмларини биринчирувчи (уловчи) цилиндрик қувурлар ва очкич тиркишларининг диаметлари қандай бўлиши кераклигини олдиндан билиш имконини пайдо бўлади.

Курилмаларда вакуум олишда, қувурлар ва тиркишларнинг ҳаво оқимини ўтказиш қобилияти хам мухим роль ўйнайди. Ўтказувчаник куйидаги муносабат орқали аникланди:

$$C = \frac{Q}{\Delta P} \quad (1.30)$$