

МИРЗО У
ЎЗБЕКИС

533

B-18

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ

МИРЗО УЛУГБЕК НОМИДАГИ
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

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

ВАКУУМ ФИЗИКАСИ ВА ТЕХНИКАСИ

ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМА

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., Рахмонов Ғ.Т.
Вакуум физикаси ва техникаси. Ўқув қўлланма.
–Т.: “Ma’rifat”, 2024. 199 бет.

Ўқув-услубий қўлланма 5140200 – физика таълим йўналишида тахсил олаётган талабаларга мўлжалланган. Қўлланмада замонавий педагогик технологиятизими асосланган ҳолда ўқув мақсадлари аниқланган, мавзу бўйича муаммолар, муҳокама учун саволлар, назорат саволлари, мустақил иш топшириқлари ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати берилган.

Ушбу қўлланмада “Вакуум физикаси ва техникаси” фанининг вакуум ҳосил қилишни назарияси ва технологиялари, ҳамда техникаси ҳақидаги материаллар берилган.

5140200 Физика бакалавриат таълим йўналишида тахсил олаётган талабаларга мўлжалланган ўқув-услубий қўлланма 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 муҳаррир:
К.А.Турсунметов – профессор

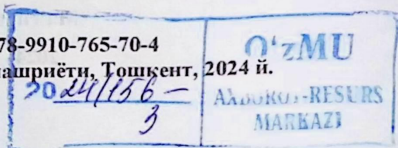
Такризчилар:

Б.Е.Умурзаков – профессор
Ҳ.Б.Ашуров – профессор

O'zMU
FIZIKA
FAKULTETI
ARM

ISBN: 978-9910-765-70-4

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



МУНДАРИЖА

КИРИШ	5
I.БОБ. СИЙРАКЛАШТИРИЛГАН ГАЗЛАРНИНГ МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК ХОССАЛАРИ. ВАКУУМ ҲОСИЛ ҚИЛИШНИНГ АСОСИЙ НАЗАРИЯСИ	6
1.1. Системани термодинамик баён этишнинг асосий тушунчалари ва тасаввурлари. Молекуллар 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. Тирқиш ва цилиндрлик қувурларда газ массасининг оқими ҳамда улардаги ўтказувчанлик хусусиятлари.	19
1.6. Газ молекулаларининг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги	23
1.7. Газлардаги қўчиш коэффициентлари	26
1.8. Вакуум даражалари тўғрисида тушунча	27
II.БОБ. ПАСТ БОСИМЛАР (ВАКУУМ) ҲОСИЛ ҚИЛИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ.	29
2.1. Вакуум насосларининг тавсифи.	29
2.2. Ҳаво сўриш тезлиги ва унумдорлиги.	32
2.3. Объектдан газ ҳайдаш ва насос ишлашининг тезлиги. Газ ҳайдовчи қурилмаларнинг умумий хусусиятлари	34
III.БОБ. ВАКУУМ НАСОСЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ, ТУЗИЛИШЛАРИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ.	35
3.1. Вакуум ҳосил қилувчи насосларнинг умумий характеристикалари	35
3.2. Механик насосларнинг турлари, тузилишлари ва ишлаш принципи. Механик вакуум насослари	38
3.3. Ҳажмий насослар конструкцияси	40
3.4. Молекуляр насослар	45
3.5. Диффузион насосларнинг турлари, тузилишлари ва ишлаш принципи	47
3.6. Эжекторли насослар	49
3.7. Диффузион насослар	50
3.8. Вакуум олишнинг физико-кимёвий методлари.	52
3.9. Ҳавони сўриб олишнинг 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
IV.БОБ ТУТҚИЧЛАР.	69
4.1. Туткичларга қўйиладиган асосий талаблар	69

4.2 Адсорбентсиз туткичлар	69
4.3 Адсорбцион туткичлар	71
4.4 Термосорбцион туткичлар	72
4.5. Электрик туткичлар	73
V. БОБ. ВАКУУМНИ ЎЛЧАШ ВА НАЗОРАТ ҚИЛИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ, ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПЛАРИ	76
5.1 Паст босимларни (вакуумни) ўлчаш ва назорат қилиш усулари.	76
5.2 Вакуумни ўлчаш методлари ва асбобларининг классификацияси	79
5.3. Деформацияли вакуумметрлар. Компрессияли вакуумметрлар	82
5.4. Иссиқлик ўзгартиргичлари	85
5.5. Электрон - ионизацион вакуумметрлар	89
5.6. Магнитли - электроразрядли вакуумметрлар	93
5.7. Радиоизотопли ўзгартиргичлар	96
5.8. Қолдиқ газлар парциал босимларини ўлчаш	98
5.9 Магнит газ таҳлил қилгич (Масс-спектрометрлар)	101
5.10. Панорамали газ таҳлил қилгич	102
5.11. Циклотронли газ таҳлил қилгич (омегатрон)	104
5.12. Вақт бўйича ўтувчи газ таҳлил қилгичлар	105
5.13. Термодесорбцион масс-спектрометр	108
5.14. Оже спектрометр	110
VI.БОБ. ВАКУУМ СИСТЕМАЛАРИ ВА ТЕЧЪ ҚИДИРИШ	111
6.1 Ҳаво сизиб ўтишини аниклаш	113
6.2 Течъ қидириш усуллари.	115
“Вакуум физикаси ва техникаси” фанидан лаборатория ишларига тайёргарлик ва уларни бажариш бўйича услубий кўрсатмалар	118
Вакуум физикаси ва техникаси фани бўйича назорат саволлари ва тестлар тўплами	129
ГЛОССАРИЙ	154
ВАКУУМ ФИЗИКАСИ ВА ТЕХНИКАСИ ФАНИ БЎЙИЧА	156
МАСАЛАЛАР	
ИЛОВАЛАР	184
АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	198

Кириш

Замонавий микроэлектроника, радиоэлектроника, компьютер техникаси, уяли алоқа телефонлари, медицинада қўлланидиган асбоб-ускуналар, турмушдаги маиший техника асбоб-ускуналарида ва бошқа соҳаларда сифатли, чидамли, мустаҳкам ва арзон эҳтиёт қисмларга бўлган талаб ортиб бормоқда. Бундай талабларни кондириш учун, турли йўналишларда илмий изланишлар ва тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бундай изланишларни айниса, эҳтиёт қисмлар тайерлашда, ҳар хил чет аралашмаларни камайтириш мақсадида, ҳавоси камайтирилган, сийраклаштирилган, яъни паст босимлар-вакуум ҳосил қилинган шаронтларда олиб бориш жуда яхши, самарали натижалар берди. Бу эса, ўз навбатида, махсус катта ҳажмли қурилмаларда паст босимли (юқори вакуумли) шаронтларни юзага келтириш ва фойдаланиш масаласини қўяди. Бу масалани ҳал қилиш учун, вакуум ҳосил қилиш назариясини яхши ўзлаштириш, вакуум техникаси ва технологияларининг пухта билиш талаб қилинади. Шу билан бирга, ҳосил қилинган вакуумни ушлаб туриш, сақлаб туриш, ташқи атмосферадан идиш ичига ҳаво ёки бошқа газларни сизиб киришига йўл қўймаслик чора-тадбирларини амалга ошириш зарур. Чунки, бу биринчидан, қурилмалар ичига ташқаридан газларни сизиб кириши натижасида, қурилмалар ичидаги вакуум даражасини кескин пасайтириб юборади. Иккинчидан, қурилмалар ичига сизиб кириб борган газ молекулалари, вакуум шаронтида, тайёрланаётган материалларнинг сирти ва сиртига яқин соҳаларга, кристалл панжарасига, диффузия натижасида кириб бориб, зарarli қурилмаларнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Бу қурилмалар тайёрланаётган материалнинг сифатини бузади. Бу эса, ўз навбатида, қурилмалар ичида ҳосил қилинган вакуум даражасини доимий назорат қилиб бориш зарурлигини кўрсатади. Бу вазифани вакуумметр деб аталадиган қурилмалар ёрдамида амалга оширилади.

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

1.Боб. Сийраклаштирилган газларнинг молекуляр-кинетик хоссалари. Вакуум ҳосил қилишнинг асосий назарияси.

Одатда вакуум деганда газларнинг атмосфера босимидан паст босимлардаги ҳолати тушунилади. Лекин физик нуқтаи назардан вакуум сийраклаштирилган газнинг сифат жиҳатдан янги хусусиятларни намоён қила бошлашдан бошланади. Масалан, газ босими камая бориши билан унинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти дастлаб ўзгармай қолади, кейинчалик маълум бир босимдан бошлаб босимга пропорционал равишда ўзгара бошлайди. Газнинг бу янги ҳолатига вакуум дейилади.

Ҳар қандай сиртлар билан чегараланган фазо бевосита ҳажмда ёки сиртта адсорбцияланган боғланган газларда бирор миқдордаги эркин газ миқдорига эга бўлади. Адсорбцияланган газ заррачалари сиртдан девор материалига диффузияланади(адсорбцияланади) ва унинг ичида ҳаракатланиши мумкин. Мувозанат ҳолатида эркин газ молекулалари(атомлари) адсорбцияланган ҳолатда тескари жараёнда десорбцияланаётган заррачалар билан мувозанат ҳолатида бўлади.

1.1. Системани термодинамик баён этишнинг асосий тушунчалари ва тасаввурлари. Молекуляр кинетик назариянинг асосий тенгламаси.

Термодинамикада физик жисм ўрганиш объекти ҳисобланади ва унга система деб юритилади. Аксарият ҳолларда термодинамик системанинг иссиқлик деб аталувчи ҳолатини мувозанатли босим характерлайди. Бу P босим атроф муҳитдаги жисмлар таъсирига, система массасига, унинг ҳажми ва ҳароратига боғлиқдир. P, V, T катталиклар система параметрлари ҳисобланади. Шундай қилиб, температура ва босим жисм иссиқлик ҳолатини аниқловчи параметрлар ҳисобланади.

Тажрибада Халқаро амалий температура шкаласидан фойдаланилиб, унда температура Цельсий ёки Кельвин градусларида ўлчанади. Цельсий шкаласи бўйича музнинг эриш температураси (сувнинг музлаш температураси) $0^{\circ}C$, сувнинг қайнаш температураси эса $100^{\circ}C$.

ХБТ системасида босим N/m^2 (Паскал) ларда аниқланиб, СГС бирликлар системасида $дин/см^2$ ларда ўлчанади ($1 Pa = 10 дин/см^2$). Аксарият ҳолларда босим нормал атмосфераларда ($атм$) ва 1 мм. сим. уст. ларида ўлчанади:

$$1 атм = 101325 Pa, 1 мм. сим. уст. = 133,322 Pa$$

Барча қисмлари бир хил ҳолатларга эга системаларга **бир жинсли**

системалар деб юритилади.

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

Ҳар қандай модданинг уч агрегат ҳолатидан энг соддаси унинг газсимон ҳолатидир, чунки бу ҳолатда молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучлари жуда кичик бўлиб уларни баъзи ҳолларда умуман эътиборга олмаслик мумкин. Шу сабабли молекуляр физикани баён қилишни биз газларнинг умумий хоссаларини ўрганишдан бошлаймиз. Бунда биз дастлаб молекулалараро кучларни ва молекулаларнинг хусусий ҳажмларини (ўлчамларини) ҳисобга олмаймиз, яъни газни ўзаро таъсирлашмайдиган моддий нуқталар тўплами деб оламиз. Бундай газга идеал газ деб юритилади.

Юқорида айтиб ўтилганидек газ ҳолатини аниқловчи асосий параметрлардан бири унинг босимидир. Чунки газ ўзи турган идиш деворларига босим бериш хоссаси билан ўзининг мавжудлигини намоён қилади. 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 ва у орқалиларига берадиган босимини аниқлаш мумкин. Молекуляр кинетик назария идеал газларнинг босими учун қуйидаги ифодани беради:

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

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

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

формуладаги $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ – катталиқ битта газ молекуласининг ўртача кинетик энергиясини билдиради. Демак, идеал газнинг босими ҳажм бирлигидаги газ молекулалари кинетик энергиясининг учдан икки қисмига тенг экан. (1.1) тенглама кўпинча идеал газлар молекуляр кинетик назариясининг асосий тенгламаси деб юритилади.

Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, газ босими газнинг кўп сондаги молекулалардан ташкил топганлиги билан боғлиқ бўлган, уни бутунлигича характерловчи, бевосита тажрибада ўлчанадиган статистик маънога эга бўлган макроскопик катталиқдир. Шу сабабли, бир ёки бир неча молекула ҳосил 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 бошланғич босим ва температура шароитда олинган O_2 , N_2 ва H_2 каби газлар катта босим (100 атм. дан катта) ларда сиқилувчанлиги ва иссиқликдан кенгайиши бўйича бир-биридан фарқ қилади. Атмосфера 1 атм га яқинлашганда 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 яқин.

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

Масса ўзгармас бўлган ҳолда P, V, T лар ташқи таъсирлар (механик, иссиқлик ва ҳоказо) натижасида ўзгариши мумкин. Агар физик ҳолатлари бўйича бир жинсли бўлиб, унда ҳеч қандай кимёвий реакциялар бормаётган бўлса, параметрлардан бирининг ўзгариши натижасида бошқа параметрларнинг ўзгариши содир бўлади. Бир жинсли системанинг параметрлари (масса доимий бўлганда) бир-бирига 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 ҳисобланади.

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

1.2. Идеал газ ҳолат тенгламаси. Газ қонунлари

Эркин газ атмосфера босимидан паст босимларда хусусияти жиҳатидан идеал газга яқин бўлиб, унинг ҳолати Менделеев – Клапейрон тенгамасига бўйсунди:

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

ёки

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

бу ерда P -босим, Па; V - ҳажм; R -универсал газ доимийси, $R=8314$ Ж/(кмоль · К) ; T -абсолют температура; k - Больцман доимийси, $k=1.23 \cdot 10^{-23}$ Ж/К ; n -концентрация, ҳажм бирлигидаги молекулалар сони.

ν моль газ учун Менделеев – Клапейрон тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

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

бу ерда V - газ жойлашган идиш ҳажми.

(1.6) тенгламадан қуйидаги келиб чиқади:

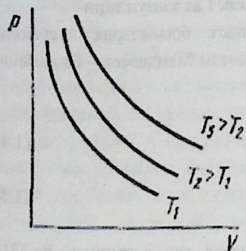
$$\frac{PV_1}{T_1} = \frac{PV_2}{T_2} \quad (1.7)$$

ва хусусий ҳолда бу уч параметр (P, V, T) дан бири ўзгармай қолганда қолган иккаласи бир-бирига боғлиқ 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 боғлиқлигини англиялик олим Р.Бойль (1627—1691) ва франциялик олим Э.Мариотт (1620—1684), бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда, 1667 йилда экспериментал тарзда топдилар. **Boyl-Mariott qonuni:** изотермик жараёнда берилган газ массаси учун газ босимининг унинг ҳажмига кўпайтмаси ўзгармас катталиқдир:

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



1.1. Расм.

Газнинг ихтиёрий икки ҳолати учун Бойль-Мариотт қонуни $P_1V_1 = P_2V_2$ ёки $PV = P_0V_0$ қўринишида 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 чизикқа **изотерма** деб аталади.

Температура ошиши билан $T_2 > T_1$, $T_3 > T_2$ изотерма чизиги юқорига 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 кенгайишини ўргана туриб франциялик олим Гей-Люссак (1778—1850) 1802-йилда доимий босимда газларнинг иссиқликдан кенгайиш коэффициентининг барча газлар учун бир хил ва

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

га тенглигини аниқлади.

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

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

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

$T_0=273\text{ K}$, $\beta=(1/273)\text{K}^{-1}$ эканлигини ҳисобга олган ҳолда, ихтиёрий температурадаги газ ҳажмини аниқлашимиз мумкин:

$$V = V_0 \beta \Delta T \quad (1.10)$$

ёки

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

V , T координаталарда изобарик жараён графиги тўғри чизикдан иборат. Бу тўғри чизикқа изобара чизиги дейилади.

Босим ортиши билан $P_2 > P_1$, $P_3 > P_2$ изотерма чизиги юқорига кўтарилади.

с) **изохорик жараён. Шарль қонуни.**

Ўзгармас босим шароитида борадиган газ жараёнига **изохорик жараён** дейилади. Тажрибалар шуни кўрсатадики, изохорик жараёнда газ босими температура ортиши билан ортар экан. Турли газларнинг иситилган ҳолдаги босимларини ўлчаб франциялик олим Ж.Шарль (1746—1823) 1787-йилда қуйидаги қонуниятни ўрнатди: ўзгармас ҳажмда газ босими 1 K га иситилганда $T_0=273\text{ K}$ температурадаги босимдан $1/273$ қийматга ортади.

Газ 1 K га иситилганда босим қанчага катталашишини кўрсатувчи γ коэффициентга **босимнинг термик коэффициент**и дейилади:

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

Бу ерда P_0 , P лар газнинг T_0 ва T температуралардаги босимларидир.

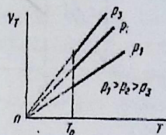
Босимнинг термик коэффициент γ барча газлар учун бир хил ва

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

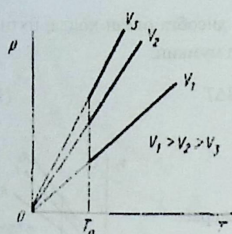
га тенглиги аниқланган.

T_0 температурадаги газнинг босими P_0 ни билган ҳолда, T температурадаги газнинг босими P ни аниқлаш мумкин:

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



1.2.Расм.

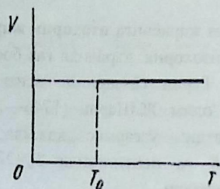


1.3. Расм.

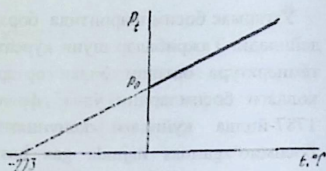
$T_0 = 273 \text{ K}$ ва $\gamma = (1/273) \text{ K}^{-1}$ лигини ҳисобга олган ҳолда газнинг босими $P = P_0 \gamma T$ ёки $P/P_0 = T/T_0$ дейиш мумкин.

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

8-расмда V, T координатада изохорик жараён графиги T ўққа параллель тўғри чизик орқали келтирилган.



1.4. Расм



1.5. Расм

9-расмда Шарль қонунининг график кўриниши келтирилган.

Газ қонунларини қараб чиққандан сўнг, идеал газга қуйидагича ҳам таъриф бериш мумкин: газ қонунларига тўла бўйсунувчи газларга идеал газ дейилади.

1.3. Паст босимларда газ молекулаларининг иссиқлик ўтказувчанлик хоссаларини ўзгариши.

Вакуум яъни, ҳавоси сўрилган, газ молекулалари сийраклаштирилган шаронгта эга бўлган ҳолат, ҳажми чекланган махсус идишларда ёки қурилмаларда юзага келтирилади. Вакуум ҳосил қилиш учун, ҳаво сўрадиган насослар, резина ёки металл қувурлар (найлар), қувурларни

уловчи мосламалар, очкич ёки ёпкич мосламалардан иборат бўлиб, жуда мустаҳкам, ташқаридан ҳаво ўтказмайдиган, ёпик, берк қурилмалар йиғилади. Қурилмаларда асосий фойдаланиладиган қисм - ишчи камера деб аталади. Ишчи камерага материаллар ўрнатиладиган мосламалар, вакуум даражасини ўлчаш учун ишлатиладиган манометрлар, ишчи камерадаги қолдиқ газ составини аниқлаш учун зарур бўлган масс-спектрометрлар, термопаралар ва бошқа қўшимча асбоб-ускуналар монтаж қилинади, ўрнатилади. Ишчи камера резина ёки металл қувурлар ёрдамида вакуум ҳосил қилувчи насосларга уланиб, берк система ёки вакуум системаси ҳосил қилинади.

Вакуум ҳосил қилиш жараёни, берк система ичидаги газ молекулаларининг молекуляр-кинетик хоссаларига боғлиқ бўлади. Газларнинг молекуляр-кинетик хоссаларини белгилувчи катталикларга, уларнинг массаси, босими, эгаллаган ҳажми, температураси, тезлиги, энергияси, эркин югуриш йўлининг узунлиги, диффузияси, иссиқлик ўтказувчанлик қобилияти, қовушқоқлиги ва бошқа катталиклари киради.

Қурилмалар ичидан ҳаво сўриш бошланиши билан, газ молекулалари сийраклаша бошлайди, қурилма ичидан ташқи атмосферага қараб, газ молекулаларининг оқими юзага келади. Бизга маълумки, суюқлик ва газларнинг оқими турбулент, ламинар (қовушқоқ) ёки молекуляр бўлиши мумкин. Газнинг турбулент оқими катта босимларда ва катта тезликларда кузатилади. Аммо, реал вакуум системаларида у қисқа вақт давомида бўлиб, умумий сўриб олиш муддатининг жуда кичик қисмини ташкил қилади.

Газ босими пасайиши натижасида, газлар молекулаларининг аралашishi тўхтаб, оқувчи муҳит бир-бирида турли тезликларда сирпанаётган алоҳида қатламларга ажралади. Газнинг ламинар оқими кузатилади. Бунда ҳали, молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўлининг узунлиги, қувурнинг қўнғдаланг кесим ўлчамларига нисбатан кичик бўлади. Бу газ оқимининг режимида ички ишқаланиш, яъни газнинг қовушқоқлиги ҳал қилувчи аҳамиятга эга эканлигидан, вакуум техникасида ламинар оқим ёки қовушқоқ оқим деб ажратилади.

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

деворлари билан таъсирлашади. Кувурнинг ўлчами ва шакли ўзгармас бўлганда, газ оқимининг қовушқоқ режимдан молекуляр режимга ўтиши фақат қувурдаги газ босимига боғлиқ бўлади.

Газ молекулалари сийраклашган ҳолларда, уларнинг баъзи бир молекуляр-кинетик хоссалари нормал шароитлардагига караганда ўзгаради. Бунда, биринчидан, қурилмалар ичидаги босим камаяди, иккинчидан, газ молекулаларининг ўзаро тўқнашиши камаяди, учинчидан, молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги ортади. Етарлича юқори вакуум ҳосил қилинганда, қолдиқ газ молекулаларининг эркин югуриш йўли узунлиги, қурилма ишчи камерасининг ўлчамларидан катта бўлган қийматларга эришади. Бундай паст босимларда газ молекулалари деярли ўзаро тўқнашмайди деб ҳисоблаш мумкин. Газ молекулалари фақат ишчи камера ва қувурлар деворлари билан тўқнашади. Газ молекулаларининг қурилма деворларини иссиқроқ қисмига урилган қисми энергия олади, совуқроқ қисмига урилган қисми энергия беради. Бу жараёнлар натижасида иссиқлик узатиш юзага келади. Одатдаги шароитларда, температура градиенти ҳисобига мавжуд бўладиган иссиқлик ўтказувчанлик хоссаси, вакуумда, иссиқлик узатиш тушунчаси билан алмашинади. Одатдаги шароитларда, газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти босимга боғлиқ бўлмайди. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти қуйидагича аниқланади:

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

бу ерда, k - иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, ρ - газларнинг зичлиги, v - молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги, λ - молекулаларнинг эркин югуриш йўли узунлиги, c_v - ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сигими.

Паст босимларда, яъни вакуум ҳолатида (1.13) ифода қуйидаги кўринишга келади:

$$k = \frac{1}{2} \frac{P}{RT} \alpha_v d \quad (1.14)$$

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

Вакуум шароитида, иссиқлик узатиш жараёнини камайиши муҳим аҳамиятга эга бўлади. Чунки, қурилмалар ичида қолган оз миқдордаги газ

молекулалари ҳам, етарлича катта миқдордаги иссиқликни узатиши мумкин. Бу эса, паст температурали суюқликларни сақлашда қўлланиладиган Дьюар идишларида ва манометрик лампаларда ўз аксини топган. Дьюар идишларида суюлтирилган азот (температураси $T = -196\text{ }^{\circ}\text{C}$) ва суюлтирилган гелий (температураси $T = -269\text{ }^{\circ}\text{C}$) сақланади. Бундай паст температурали идиш деворларига келиб уриладиган молекулалар сони жуда ҳам кам бўлиши лозим. Чунки, ҳар бир молекула идиш деворлари билан тўқнашганда, ўзининг кинетик энергиясини идиш деворларига узатади. Идиш деворлари эса, бу энергияни иссиқлик энергияси кўринишида идиш ичидаги суюқликка узатади. Натижада, идиш ичидаги паст температурали суюқ азот ёки гелий жуда тез буғланади, яъни исроф бўлади. Шунинг учун, Дьюар идишининг асосий корпуси билан, паст температурали суюқ азот ёки гелий сақланадиган ички корпуси орасида ҳаво молекулалари жуда ҳам кам бўлиши керак, яъни юқори вакуум бўлиши керак. Шу ҳолдагина иссиқлик узатиш кескин камаяди.

Қурилмалар ичидаги вакуумни ўлчашда иссиқлик манометрларидан фойдаланилади. Бу манометрнинг ишлаш принципи, вакуум олинadиган қурилмалар ичидаги босимни ўлчашга, яъни иссиқлик ўтказувчанликнинг босимга боғлиғига 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 тўқнашганда юзага келади. Босим ўзгариши, яъни қурилмалар ичида вакуум ҳосил қилиш бошланиши билан молекулаларнинг оқими юзага келади. Оқим пайдо бўлиши эса газ молекулалари хаотик ҳаракатининг нисбатан тартибли ҳаракатга айланишига олиб келади. Газ молекулаларининг оқими турбулент, ламинар ва молекуляр оқимларга бўлинади. Нормал шароитлардаги оқим, ламинар оқим ҳисобланади. Бу ҳолда, асосан, газ молекулаларининг ўзаро тўқнашиши устун бўлади. Паст босимлар ҳосил қилинганда, яъни вакуум ҳосил қилинганда, қурилмалар ичида газ молекулаларининг ўзаро тўқнашиши жуда кам бўлиб, асосий тўқнашишлар қурилмаларнинг ички деворлари билан бўлади. Бундай шароитларда юзага келган оқим, молекуляр оқим ҳисобланади. Вакуум ҳосил қилишнинг дастлабки

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

Молекулалар орасида тўқнашувлар бўлмаганда, хавоси сўрилатган қурилмалар ичидан, газ молекулаларининг ташқарига оқиши, бир қарашда, қурилмалар ичидаги турли қисмларда газнинг босимлар фарқига боғлиқ эмасдек туюлади. Ҳақиқатан ҳам, қурилманинг бирор деворидан иккинчи деворига эркин учиб ўтиб тўқнашувчи молекула, бошқа молекулалар томонидан ҳеч қандай таъсирга дуч келмайди. Шунинг учун, қурилманинг бирор қисмида газ молекулаларининг зичлиги (ҳажм бирлигидаги молекулалар сони) ўзгармаслиги керак эди. Бошқача қилиб айтганда, қурилмалар ичидаги босимнинг ўзгаришидан молекулаларнинг ҳаракат йўналиши ўзгармайди. Бирок, тажрибаларнинг кўрсатишича, молекуляр оқимда ҳам, газ молекулаларининг хаотик ҳаракати сақланиб қолаётган экан. Шу сабабли, молекулаларнинг маълум бир қисми оқимга тескари йўналишда ҳаракатланиши мумкин деган хулоса келиб чиқади. Бу эса, ўз навбатида молекуляр оқимда ҳам, қурилмалар ичида босимлар фарқи бор деб фараз қилиш мумкинлигини кўрсатади. Шу фараз асосида, қурилмаларнинг бир қисмидан иккинчи қисмига оқиб ўтувчи газ массасининг миқдорини ва оқим катталигини аниқлаш мумкин. Қурилманинг бир қисмидан иккинчи қисмига F – юзали сирт (тирқиш) орқали вақт бирлиги ичида оқиб ўтувчи газ молекулаларининг сони қуйидагича ҳисобланади:

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

бу ерда $\bar{v}$ - молекулалар иссиқлик ҳаракатининг ўртача тезлиги, ΔP - қурилма қисмларидаги босимлар фарқи, k - Больцман доимийси, T - абсолют температура, F - тирқиш қўндаланг кесим юзаси.

Бирлик вақт ичида, тирқишдан оқиб ўтган газнинг массаси:

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

қийматга тенг бўлади, бу ерда m – битта молекуланинг массаси.

Қурилманинг тирқишидан вақт бирлиги ичида оқиб ўтаётган газни масса ҳисобида эмас, молекуляр оғирлик ҳисобида ифодаласак

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

келиб чиқади. Олинган ифодадаги $\vec{g}$ - молекулаларнинг иссиқлик ҳаракат ўртача тезлигини $\vec{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ қиймат билан алмаштириш натижасида қуйидаги муносабатни оламиз:

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

Бу ифодага кирувчи F ва P катталикларни тажрибалардан аниқлаш мумкин. Бу эса, тажрибалар ёрдамида, вақт бирлиги ичида S -кўндаланг кесимли тирқиш орқали оқиб ўтувчи газ миқдорини аниқлаш имконини беради.

Вакуум ҳосил қилинаётганда, қурилмалар ичидаги газ молекулаларининг оқими юзага келади. Бу оқимни, турли хилдаги ҳавони сўриб олувчи қурилмалар, яъни вакуум насослари ёрдамида амалга ошириш мумкин. Бу ҳолда оқим, ўз навбатида вакуум насосларининг баъзи бир характеристикаларига кучли боғлиқ бўлади. Вакуум ҳосил қилинаётган қурилмалар ичидан ташқарига, газ молекулаларини чиқариб юборишда, насосларнинг асосий характеристикаларидан бири, қурилмалар ичидаги ҳавони сўриш тезлиги ҳисобланади. Насосларнинг сўриш тезлиги (S)— деб, ихтиёрий V —ҳажмдан бирлик вақт ичида сўриб, ташқарига 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 камаёди. Бунда, насоснинг сўриш тезлиги S , қурилма ичидаги P босимнинг функцияси бўлиб қолади. Бу жараёنни қуйидагича тушунтириш мумкин: сўриш жараёнида, қуйидагилар қурилма ичида ҳаво (газ) манбаи бўлади деб ҳисоблаш мумкин:

1. Q_s — десорбция натижасида қурилма деворларидан ажралиб чиқадиган ҳаво (газ) оқими;

2. Q_n - ташқаридан, турли хил тиркишлардан ва қурилма деворларидан сизиб кириб келадиган ҳаво (газ) оқими;
3. Q_s - насос сўраётган қувурлардан қурилма ичига қайтиб кираётган ҳаво (газ) оқими;

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

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

бу ерда, (1.19) тенглама чап томонидаги минус ишора қурилма ичидаги dP босимнинг камайишини кўрсатади. Бу жараён, яъни сўриш жараёнидаги оқим, маълум бир dt вақтдан сўнг мувозанатлашади, яъни насос сўриб чиқариб юбораётган ҳаво (газ) миқдори Q_g , Q_n ва Q_s - оқим миқдорлари билан тенглашади. Натижада, қурилма ичидаги P - босим, насоснинг кейинги сўриш давомида ўзгармай қолади. Қурилма ичидаги P босим чегаравий P_n босим қийматиға эришади. Бошқача қилиб айтганда, $\frac{dP}{dt} = 0$ бўлиб қолади, яъни насоснинг бундан кейинги сўриш вақтининг қандай бўлишидан қатъий назар қурилма ичидаги P_n - босим ўзгармай қолади.

(1.19) ифодани соддалаштириб қуйидаги тенгламани оламиз:

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

Бу олинган муносабат орқали насоснинг сўриш тезлиги қуйидагича аниқланади:

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

бу ерда, $\sum Q$ - қурилма ичига йўналган оқимлар йиғиндиси.

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

$$S_{\text{эф.}} P = SP - \sum Q = SP - SP_n = S(P - P_n) \quad (1.22)$$

Бу тенгламани соддалаштириб қуйидагини оламиз:

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

Бу ерда $S_{\text{ф}}$ - босим функцияси бўлиб, қурилма ичидаги чегаравий босимда нолга тенг бўлиб қолади.

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

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

ёки $t = 0$ вақтдаги босимни P_0 деб олсак

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

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

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

Олинган ифодадан кўринадики, қурилмаларда ёки вакуум камераларида вакуум ҳосил қилишда молекулаларнинг оқиши учун C – ўтказувчанлик қиймати етарлича катта бўлиши талаб қилинар экан. Ўтказувчанлик канча катта бўлса, ишчи камерада молекулаларнинг оқими шунча кам қаршиликка учрайди ва вакуум ҳосил қилиш жараёни сезиларли равишда енгиллашади.

1.5. Тирқиш ва цилиндрлик қувурларда газ массасининг оқими ҳамда улардаги ўтказувчанлик хусусиятлари.

Ишчи камера ичида вакуум ҳосил қилиш учун, камера қисмлари ўзаро цилиндрлик шаклдаги резина ёки металл қувурлар билан уланади (бириктирилади). Бириктириш (уланиш) жойларига махсус тайёрланган

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

Қурилмаларда вакуум ҳосил қилиш жараёнида юзага келадиган Q оқим газ ҳажмининг ўзгариш тезлиги орқали аниқланади:

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

Аксарият ҳолларда, газ оқими ўрнига, оқим массаси ёки газ молекулаларининг сони катталикларидан фойдаланилади. Бунда, узунлиги l ва радиус r бўлган цилиндрик қувурдан вақт бирлиги ичида оқиб ўтаган газнинг миқдори қуйидагига 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 қуйидаги кўринишга 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 қилишда, цилиндрик қувурлардан оқаётган газнинг миқдори, одатдаги шароитлардаги газ оқими миқдоридан фарқ қилади. Вакуум ҳосил қилишда, қурилмалар ичида, газларнинг молекуляр оқими юзага келади. Демак, (1.29) ифодага кўра, молекуляр оқимда, вақт бирлиги ичида, цилиндрик қувурлар ва очкичларнинг тиркишларидан оқиб ўтган газ миқдори, газ молекулаларининг иссиқлик ҳаракат тезлигига ҳамда цилиндрик қувурлар ва очкич тиркишларининг ўлчамларига боғлиқ бўлар экан. Бунинг натижасида қурилмаларда вакуум олиш жараёнида, қурилма қисмларини бириктирувчи (уловчи) цилиндрик қувурлар ва очкич тиркишларининг диаметрлари қандай бўлиши кераклигини олдиндан билиш имконини пайдо бўлади.

Қурилмаларда вакуум олишда, қувурлар ва тиркишларнинг ҳаво оқимини ўтказиш қобилияти ҳам муҳим роль ўйнайди. Ўтказувчанлик қуйидаги муносабат орқали аниқланади:

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