

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі
А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті
Математика және физика кафедрасы

Д.К.Оразалинова, Ж.Ш.Бермагамбетова

МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА

Оқу-әдістемелік құрал

Қостанай, 2020

УДК 539.1

ББК 22.36

О 65

Автор:

Оразалинова Дамеля Каирбековна, жаратылыстану ғылым магистрі,
математика және физика кафедрасының аға оқытушысы ;

Бермагамбетова Жанат Шектебаевна, жаратылыстану ғылым магистрі,
математика және физика кафедрасының оқытушысы.

Рецензенттер:

Джаманбалин Қадырғали Қоныспайұлы - физика-математика ғылыми докторы, З.Алдамжар атындағы ҚЭТУ профессоры;

Исинтаев Тақабай Исинтайұлы – техникалық ғылыми кандидаты, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ машина жасау кафедрасының доценті;

Ысмағұл Роза Сапабекқызы - физика-математика ғылыми кандидаты, А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ математика және физика кафедрасының доценті

Оразалинова Д.К.

О 65 Молекулалық физика: Оқу-әдістемелік құрал.- Қостанай: А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ, 2020. - 130 б.

ISBN

Оқу-әдістемелік құралда молекулалық физиканың жалпы негізгі анықтамалары, заңдары, формулары енгізілген. Әр бөлімнен кейін есептердің шығарылу жолдары көрсетілген, зертханалық жұмыстары және сұрақтары берілген. Сонымен қатар оқу құралында есеп шығару үлгілері және өз бетімен шығаратын есептер келтірілген.

Физика мамандығында оқитын студенттерге арналған.

УДК 539.1

ББК 22.36

О 65

А.Байтұрсынов атындағы ҚМУ Оқу-әдістемелік отырысында қаралған және ұсынылған, 28.02.2020 ж. № 1 хаттама

ISBN 978-601-7597-86-3

© Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті

© Оразалинова Д.К., 2020

Мазмұны

Кіріспе	5
1 тақырып Молекулалық физика пәні	6
1.1 Молекулалық физика.....	6
1.2 Молекулалы-кинетикалық теорияның (МКТ) негіздері.....	7
2 тақырып Тепе-теңдік макропараметрлері. Қысым және температура	9
2.1 Термодинамикалық тепе-теңдік.....	9
2.2 Молекула-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі	11
3 тақырып Статистикалық әдіс	15
3.1 Математикалық статистиканың негізгі түсініктері.....	15
3.2 Молекулалық жүйедегі кездейсоқ оқиғалар мен кездейсоқ шамалар.....	15
3.3 Негізгі және іріктеме жиынтық параметрлерінің негізгі сипаттамалары.....	16
3.4 Тәуелді және тәуелсіз іріктемелер	18
3.5 Іріктемелі жиынтықтың негізгі статистикалық сипаттамалары	20
4 тақырып Молекулалардың жылдамдық бойынша Максвеллдік үлестірілуі	28
4.1 Максвелл үлестірілуі	28
4.2 Жылдамдықтар бойынша молекулалардың локальды тепе-теңдіктің Максвелл үлестірілу функциясы.....	30
5 тақырып Термодинамиканың бірінші бастамасы	32
5.1 Термодинамиканың зерттеу пәні.....	32
5.2 Термодинамиканың негізгі заңдары.....	32
5.3 Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы.....	33
5.4 Жылу мөлшері және жылу сыйымдылығы.....	37
5.5 Идеал газдың ішкі энергиясы және молекуланың еркіндік дәредесі.....	39
5.6 Термодинамиканың бірінші бастамасын изопроцестерге қолдану.....	42
6 тақырып Термодинамиканың екінші бастамасы	49
6.1 Карно циклі. Карно теоремасы және Клаузиус теоремасы.....	49
6.2 Дөңгелек процестер. Жылу машиналарының ПӘК-і	50
6.3 Энтропия. Энтропияның статистикалық түсіндірмесі.....	51
6.4 Термодинамиканың екінші заңы – энтропияның өсу заңы.....	54
7 тақырып Тасымалдау процестері	56
7.1 Тасымалдау құбылысы.....	56
7.2 Диффузия құбылысы.....	56
7.3 Жылу өткізгіштік құбылысы.....	57
7.4 Газдардың ішкі үйкелісі (немесе тұтқырлық).....	58
8 тақырып Нақты газдар	60
8.1 Ван-дер-Ваальс теңдеуі	60
8.2 Ван-дер-Ваальс изотермалары	61
9 тақырып Фазалық ауысымдар	65
9.1 Бірінші және екінші текті фазалық ауысымдар.....	65
9.2 Кристалдық күй	66

Есептерді шешуге арналған әдістемелік нұсқау.....	72
Өз бетімен шығаратын есептер.....	89
Зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау.....	96
Қосымша А.....	129
Қолданылған әдебиеттер тізімі	130

Кіріспе

«Молекулалық физика» оқу-әдістемелік құралы ақпараттармен толық қамтылған. Молекулалық физика пәнінде негізгі қарастыралатын заңдар, түсіндірілетін процесстер мен формулалар келтірілген. «Молекулалық физика» оқу-әдістемелік құралы студенттерге сабаққа дайындалуға көмекші құрал ретінде маңызды рөл атқарады деген көзқарастамыз.

Оқу-әдістемелік құралдың бұл бөлімі- физикалық эксперименттер мен практикалық тәжірибелерді жалпылау негізінде жақсалған физикалық теория ретінде қарастырылып отыр. Молекулалы - кинетика физика негіздері мен термодинамика заңдарының статистикалық сипаттарын зерттейді.

Молекулалық физика қарастыратын процестер - өте көп молекулалардың әсерінің нәтижесі болып табылады. Саны өте көп молекулалардың қозғалыс заңы статистикалық заңдылық болғандықтан статистикалық әдістің көмегімен зерттеледі.

Термодинамикалық әдістің негізі - термодинамикалық жүйенің күйін анықтау болып табылады. Жүйенің күйі термодинамикалық параметрлерімен беріледі. Термодинамикалық параметрлер деп термодинамикалық жүйенің қасиетерін сипаттайтын физикалық шамалардың жиынтығын айтады. Күй параметрлері ретінде температура, қысым, көлем қарастырылады.

Молекулалық физика қоршаған ортаны сақтау келесі мәселесіне тікелей қатынасы бар. Себебі, экожүйелердегі негізгі процестер импульсті, энергияны, және энтропияны тасымалдау процестері молекулалық физика зерттейді. Қоршаған ортаны ластайтын технологиялық қондырғыларда осы процестер негізінде жүреді. Жылу машиналарындағы процестерді жалпылау негізінде термодинамиканың негізгі қағидалары тұжырымдалған. Қазіргі заманғы индустрияның негізі жылу машиналары және оларды пайдалану қоршаған ортаның ластануына әкеледі.

1 тақырып Молекулалық физика пәні

1.1 Молекулалық физика

«Молекулалық физика» пәнінің оқыту мақсаты: зерттелетін жүйелердегі процестер тек молекулалық қозғалыс және молекулааралық әсерлесулермен анықталады.

Курстың бұл бөлімін физикалық эксперименттер мен практикалық тәжірибелерді жалпылау негізінде жақсалған физикалық теория ретінде қарастыра отырып, өте көп бөлшектерден құралатын арнайы ерекшеліктері бар зерттеу кешені және молекулалық физика мен термодинамика заңдарының статистикалық сипаттарын ашу. Қазіргі заманғы ғылымының даму логикасына және физиканың тарихына сәйкес, тізбекті түрде нақты кезеңде адамзат әрекетінің әртүрлі саласындағы қолданылатын процестерге күй параметрлері мен процестер параметрлерін енгізумен қатар, оларға молекула-кинетикалық түсіндірмелер беру қажет.

Қозғалыстың молекулалық түрі экологияда маңызды екенін көрсету және экологиялық басты проблемалардың бірі (жылулық ластанулар, технологиялық шығымдарды тазарту мәселері және т.б.). Табиғаттын жалпы заңдылықтары термодинамика мен физикалық кинетика заңдарының негізінде шешілуі тиіс.

Молекулалық физика- молекулалардың өзара әсерлесумен және қозғалыстары мен анықталатын заттар қасиеттері туралы ғылым саласы. Физиканың бұл саласында келесі маңызды шамалар енгізіледі: температура, ішкі энергия, жылу, энтропия, диффузия, жылуөткізгіштік, тұтқырлық, олардын микроскоптық түсіндірмелері толығымен беріліп, яғни молекулалық деңгейде қарастырылады.

Молекулалық физикаға қоршаған ортаны сақтау тікелей қатынасы бар. Себебі, экожүйелердегі негізгі процестер импульсті, энергияны, және энтропияны тасымалдау процестері молекулалық физика зерттейді. Қоршаған ортаны ластайтын технологиялық қондырғыларда осы процестер негізінен жүреді. Жылу машиналарындағы процестерді жалпылау негізінде термодинамиканың негізгі қағидалары тұжырымдалған. Қазіргі заманғы индустрияның негізі жылу машиналары және оларды пайдалану қоршаған ортанын ластануына әкеледі.

С.Карно және Р.Клаузиус көрсеткендей жылу машинасының қажетті элементі мұздатқыш болып табылады. Қазіргі заманғы жылу машиналары мұздатқыш ретінде қоршаған ортаны пайдаланады, сондықтан бұл жылулық ластанумен бірге әлемдік жылу мәселесіне әкеледі. Сондықтан ПӘК коэффициенті өте үлкен жылу машинасын жасау, қоршаған ортаға жылулық әсерін кемітеді, бұл экологияға жақсы көзқарастың белгісі. [1]

Молекулалық физика – заттың құрылымын және қасиеттерін барлық денелерге үздіксіз хаосты (тәртіпсіз) қозғалатын молекулалардан тұратын на негізделген молекулалы — кинетикалық тұрғыдан зерттейді. Молекулалық физика қарастыратын процестер өте көп молекулалардың әсерінің нәтижесі

болып табылады. Саны өте көп молекулалардың қозғалыс заңы статистикалық заңдылық болғандықтан статистикалық әдістің көмегімен зерттеледі.

Бұл әдіс макрокопиялық жүйенің қасиеті жүйені құрайтын бөлшектердің қасиеттерімен, олардың қозғалыс ерекшеліктерімен және осы бөлшектердің динамикалық сипаттамаларының орташа мәндерімен анықталатындығын негізделген. Мысалы, дененің температурасы оны құрайтын молекулалардың тәртіпсіз қозғалысының жылдамдығымен анықталады.

Бірақ кез келген уақыт аралығында түрлі молекулаларын жылдамдығы әр түрлі болғандықтан оны молекулалардың қозғалыс жылдамдығының орташа мәні арқылы өрнектеуге болады. Демек, денелердің макрокопиялық сипаттамаларының молекулалардың саны өте көп болғанда ғана физикалық мағынасы болады, бір молекуланың температурасы туралы айтуға болмайды.

Термодинамикалық жүйе – өзара әсерлесуші, әрі басқа денелермен де әсерлесуші және энергия алмасушы макрокопиялық денелердің жиынтығы. Термодинамикалық әдістің негізі - термодинамикалық жүйенің күйін анықтау болып табылады. Жүйенің күйі термодинамикалық параметрлерімен беріледі. Термодинамикалық параметрлер деп термодинамикалық жүйенің қасиеттерін сипаттайтын физикалық шамалардың жиынтығын айтады. Күй параметрлері ретінде температура, қысым, көлем қарастырылады.

Негізгі ұғымдары: Идеал газ моделі, атомдық және молекулалық массалар, молекулалық физиканың негізгі параметрлері, абсолюттік термодинамикалық температура.

Молекулалық физика және термодинамика макрокопиялық денелердің, былайша айтқанда, өте көп микробөлшектерден (молекулалар, атомдар, иондар, электрондар) тұратын денелердің физикалық қасиеттерін зерттейтін физиканың бөлімдері. Осы қасиеттерді зерттеу үшін сапалы түрде алшақ және бірін-бірі толықтыратын екі әдіс қолданылады: молекулалы-кинетикалық (статистикалық) және термодинамикалық.

Жүйелерді құрайтын микробөлшектердің қозғалысы сипаттамаларының орташаланған мәндері негізінде макрокопиялық жүйелердің қасиеттерін зерттеу әдісі, молекулалы – кинетикалық (статистикалық) әдіс деп аталады.

Жүйелерде жүретін энергияның алмасу заңдарына сүйене отырып макрокопиялық жүйелердің қасиеттерін зерттеу әдісі **термодинамикалық** деп аталады.

1.2 Молекулалы-кинетикалық теорияның (МКТ) негіздері

Молекулалы-кинетикалық теорияның (МКТ) негіздері:

1. Барлық заттар молекулалардан тұрады.
2. Молекулалардың арасында бір мезгілде өзара тарту және тебу күштері әсеретеді.

2. Молекулалар үздіксіз хаосты (бейберекет) қозғалыс күйінде болады.

Идеал газ – келесі шарттарды қанағаттандыратын газ:

- молекулалар – материялық нүктелер;
- молекулалар арасындағы тарту күштері болады;

- молекулалар арасындағы тебу күштері олар өзара соқтығысқан мезетте ғана ескеріледі.

Әртүрлі денелер молекуласының масса бірлігі ретінде ^{12}C көміртегі изотобы атомының m_{oc} массасының $1/12$ бөлігі алынады. Ол *атомдық масса бірлігі* (*а.м.б.*) деп аталады және мынаған тең:

$$1 \text{ а.м.б.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}, \quad (1)$$

Заттың салыстырмалы молекулалық массасы M_R деп заттың бір молекула m_0 массасының көміртегі атомы m_{oc} массасының $1/12$ бөлігіне қатынасын айтады.

Зат мөлшері деп берілген жүйенің бөлшектерінің, құрылымдық элементтерінің, санына пропорционал ν шаманы айтады. Оны моль арқылы жазу қабылданған. Массасы $0,012 \text{ кг}$ ^{12}C көміртегінде қанша атом болса, сонша молекуладан (атомнан) тұратын зат мөлшері бір моль деп аталады. Бұл сан Авогадро тұрақтысы деп аталады және N_A арқылы белгіленеді:

$$N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}, \quad (2)$$

Сәйкесінше, кезкелген заттың 1 мольде атомдар саны мен молекулалар саны бірдей болады. Егер денедегі зат мөлшері ν мольден тұрса, онда денедегі молекулалар N саны мынаған тең:

$$N = \nu \cdot N_A, \quad (3)$$

Заттың молярлық массасы M деп бір моль мөлшерінде алынған зат массасын айтады. Ол бір молекула массасының m_0 Авогадро санына N_A көбейтіндісіне тең:

$$M = m_0 \cdot N_A \text{ кг/моль}, \quad (4)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Молекула-кинетикалық үлгі ретінде не қарастырылады?
2. Атом, молекула массасы дегеніміз не?
3. Зат мөлшері дегеніміз не? Өлшем бірлігі? Негізгі газдардың бір граммның молекулалар саны қалыпты жағдайда неге тең? Зат мөлшері не?
4. Заттың құрылымын зерттеудің феноменологиялық, термодинамикалық, басқа зерттеу әдістері ?
5. Құрылымдық элементтердің жылулық қозғалысымен байланысы неде?

2 тақырып Тепе-теңдік макропараметрлері. Қысым мен температура

2.1 Термодинамикалық тепе-теңдік

Термодинамикалық параметрлер деп макродененің күйін сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

Термодинамикалық процесс дегеніміз – қандай да бір термопараметрдің өзгеру құбылысы немесе жүйенің бір күйден екінші күйге өтуі.

Жылулық тепе-теңдік кезінде барлық денелердің температуралары бірдей, сондықтан оны жылулық тепе-теңдік күйінің сипаттамасы деп есептеуге болады.

Денелердің температурасын өлшеуге пайдаланылатын заттарды термометрлік денелер деп атайды.

Қысымның, оның өзгеруі мен сиреуін кең қолдануы технологиялық процестерде қысымды бақылау мен өлшеудің әр түрлі құралдарын және әдістерін қолдануға қажеттілік тудырады.

Қысымды өлшеу әдістері өлшенетін қысымның күшін келесідей күштермен салыстыруға негізделген:

- сәйкес биіктікті сұйықтық (сынаптың, судың) бағанасының қысым;
- серімді элементтердің (серіппе, мембрана, монометрлік және анероидты қорабтар, сиффондар, манометрлік түтіктер) деформациясында дамитын;
- жүктердің ауырлығы;
- кейбір материалдардың деформациясында туындайтын және электрлік эффектті туғызатын серпімді күштермен.

Көрсетілген әдістерге сәйкес қысымның параметрлерін өлшеу құралдарын сұйықтықты, деформациялы, жүк поршенді және электрлік деп бөлуге болады.

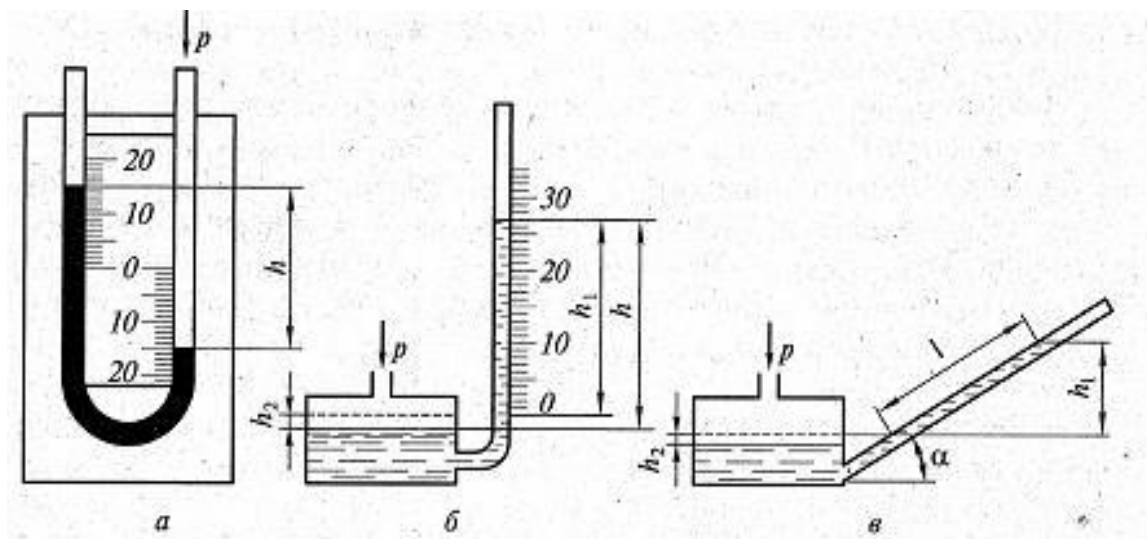
Қысымды өлшеу құралдары келесідей болып бөлінеді: барометрлер (атмосфералық қысымды өлшеу үшін), манометрлер (асқын қысымды өлшеу үшін), вакуумметрлер (вакуумметрлік қысымды өлшеу үшін), мановакуумметрлер (асқын және вакуумметрлік қысымдарды өлшеу үшін), абсолюттік қысым манометрлері (абсолютті нөлден басталатын қысымды өлшеу үшін), дифференциалдық манометрлер (қысымдардың айырмашылықтарын (өзгерістерін) өлшеу үшін).

Қысымды өлшеудің сұйықтықты құралдары:

Өлшеудің сұйықтықты құралдарының әрекеті гидростатикалық принципке негізделген, яғни өлшенетін қысым қамалған (жұмыстық) сұйықтың бағанасының қысымымен теңгеріледі.

Сұйықтың тығыздығына тәуелді деңгейлер айырмашылығы қысым мөлшері болып табылады.

Қысымды немесе қысымның айырмашылығын өлшеудің қарапайым құралы болып екі түтікті (немесе U-тәрізді) манометр табылады (1 сурет, *a*). Ол жұмыс сұйығымен (сынаппен немесе сумен) толтырылған және шкаласы бар панелге бекітілген иілген шыны құбыр болып келеді.



1 сурет - Сұйықты манометрлер:

- а) - U-тәрізді;
- б) - кеселі;
- в) - микроманометр.

Құбырдың біршеті атмосфералымен байланысады, ал басқасы қысым өзгеретін нысанға қосылады. Оның мәнін келесі дей теңдеуде анықтаймыз:

$$P = \rho g h, \quad (5)$$

мұнда

p – өлшенетін қысым, Па;

h – сұйық деңгейлерінің айырмашылығы, м;

ρ - сұйықтың тығыздығы, кг/м³; g-ауырлық күшінің үдеуі, м/с².

Тепе-теңдік күйлердің үздіксіз тізбегінен құрылған тепе-теңдік деп аталады. Тепе-теңдік кезінде жүйенің барлық макропараметрлері өте баяу, физикалық шектеусіз баяу, болымсыз өзгереді, әр түрлі нүктелеріндегі параметрлердің мәні, мысалы қысым болса, қайсыбір орташа мәніне жақын болады. Бұл айтылғандардан, тек шектеусіз баяу өтетін тепе-теңдік бола алады. Егер тепе-теңдік күйінен жүйе шығарылып және еркіне жіберілсе, онда ол біраз уақыттан кейін қайтадан тепе-теңдік күйіне оралады. Жүйенің тепе-теңдіксіз күйінен тепе-теңдік күйіне өту процесі релаксация деп аталады, ал жүйенің тепе-теңдік күйге.

Ерітінді еріген зат пен еріткіштен тұрады. Концентрация – еріген заттың ерітіндідегі мөлшерін көрсетеді. Молярлық концентрация (См) не молярлық (М) – еріген заттың мөлшерінің ерітінді көлеміне қатынасы, моль/л. Концентрация –еріген заттың ерітіндідегі мөлшерін көрсетеді.

Егер ерітіндінің концентрациясын сандық мөлшермен көрсетпесе, оларды қанықпаған, қаныққан. Қою ерітінді – еріген зат көп ерітінді. Концентрленген ерітінді — өте қою ерітінділер.

Ерітінділер концентрациясы Ерітінді - екі не одан көп компоненттерден (құрамына нағыз ерітінділерде таралып жүрген зат жеке молекулаларға не жеке иондарға дейін ұсақталады.

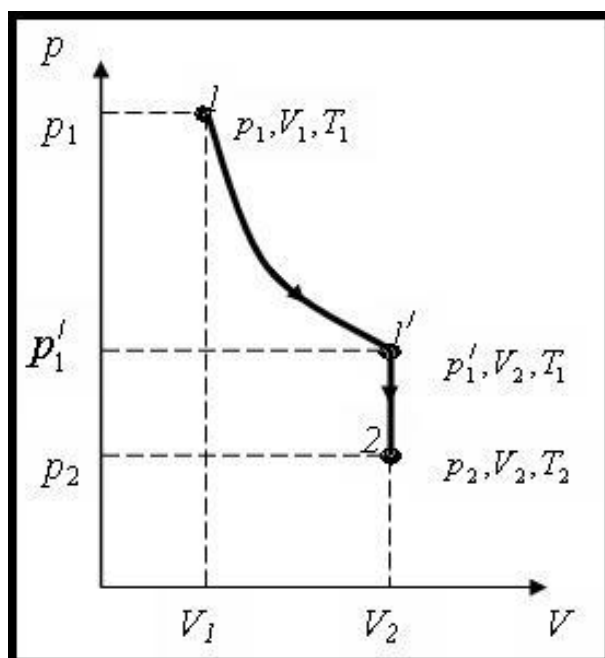
Концентрация - еріген заттың ерітіндідегі мөлшерін көрсетеді. Тығыздық. Зат массасының осы зат көлеміне қатынасымен өлшене отырып, сол затты сипаттайтын өте маңызды физикалық қасиеттердің бірі. Заттың тығыздығын анықтау үшін міндетті түрде көлемдері 1 м^3 немесе 1 см^3 болатын денелерді жасаудың қажеттігі жоқ. Заттың тығыздығы және тығыздықтың өлшем бірлігі. Зат тығыздығының бірлігі үшін бірліктердің Халықаралық жүйесінде килограмның метр кубқа қатынасы алынған. ($\text{кг}/\text{м}^3$). Газдың тығыздығы сұйық немесе қатты күйдегі заттың тығыздығымен салыстырғанда кіші болады.

Қоспаның бірлік массасындағы немесе бірлік көлеміндегі зат компоненттерінің мөлшерін концентрация деп атайды.

2.2 Молекула-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі

Клапейрон, Бойль-Мариотт және Гей-Люссак заңдарын біріктіре отырып, идеал газ күйінің теңдеуін қорытып шығарды.

Суретке 2 изотермиялық және изохоралық үрдістер көрсеті.



2 сурет - Изотермиялық және изохоралық үрдістер

Изотермиялық және изохоралық үрдістер үшін жазылған заңдарға сәйкес,

$$p_1 V_1 = p_1' V_2,$$

$$\frac{p_1'}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (6)$$

Екі теңдіктен p_1' алсақ, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ аламыз. 1 және 2 күйлері өз еркімізбен алынғандықтан,

$$\frac{pV}{T} = B = const \quad (7)$$

(6) – **Клапейрон теңдеуі**, мұндағы B - әр түрлі газдар үшін әр мәнді тұрақты.

Менделеев-Клапейрон теңдеуі

Менделеев (6) теңдеуді 1 моль газ үшін жазып, V_m молярлық көлемін қолданып, Клапейрон теңдеуін Авогадро заңымен біріктірді. Авогадро заңына сәйкес, бірдей p және T кезінде барлық газдардың бір молі бірдей молярлық көлемді V_m алады және тұрақты барлық газдар үшін бірдей болады:

$$pV_m = RT \quad (8)$$

(7) – **Менделеев-Клапейрон теңдеуі**. $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ - мольдік газ тұрақтысы.

m массалы газ үшін Менделеев – Клапейрон теңдеуі:

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT \quad (9)$$

мұндағы

$\nu = m/M$ - зат мөлшері;

M – мольдік масса (бір моль заттың массасы);

$V = (m/M)V_m$ екендігі ескерілген.

Күй теңдеуі ($p = nkT$)

Больцман тұрақтысын

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$$

енгізіп, теңдеуге келесі түрді беруге болады:

$$p = \frac{RT}{V_m} = \frac{kN_A T}{V_m} = nkT$$

мұндағы

$N_A/V_m = n$ - молекулалар концентрациясы немесе шоғыры.

МКТ негізгі теңдеуі:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{не}} \rangle^2 \quad (10)$$

мұндағы

p – газдың қысымы;

n – молекулалардың концентрациясы;

m_0 – бір молекуланың массасы;

$\langle v_{\text{не}} \rangle$ - молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы;

$n = N/V$ - екені ескерілсе,

$$pV = \frac{1}{3} N m_0 \langle v_{\text{не}} \rangle^2 \quad (11)$$

$$pV = \frac{2}{3} N \frac{m_0 \langle v_{\text{не}} \rangle^2}{2} = \frac{2}{3} E \quad (12)$$

мұндағы

E - барлық газ молекулаларының ілгерлемелі қозғалысының қосынды кинетикалық энергиясы.

Газ массасы $m = N m_0$ болғандықтан,

Бір моль газ үшін $m = M$ (M – мольдік масса), сондықтан

$$pV_m = \frac{1}{3} M \langle v_{\text{не}} \rangle^2$$

мұндағы

V_m – мольдік көлем.

Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы: V көлемінде v_1, v_2, \dots, v_N жылдамдықтарымен қозғалатын N молекула бар деп есептеледі,

Менделеев – Клапейрон теңдеуіне сәйкес $pV_m = RT$. Олай болса,

Орташа квадраттық жылдамдық:

$k = R/N_A$ - Больцман тұрақтысы.

Идеал газдың бір молекуласының ілгерлемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы:

$$\langle \varepsilon_0 \rangle = \frac{m_0 \langle v_{xe} \rangle^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Бұл формула температураның молекула-кинетикалық түсінігін ашады: ол – идеал газ молекулаларының ілгерлемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі.

1801 ж. **Дальтон заңы** газ қоспасының қысымын және жеке компоненттердің жалпы қысымға беретін нақты «үлесін» анықтады. Өмірде біз таза газды емес, газ қоспасын кездестіреміз. Мысалы, ауа азоттан, оттектен, көмірқышқыл газынан және басқа да көптеген газ қоспасынан тұрады. Дальтон осындай газ қоспасының қысымын анықтауды мақсат етті. Бұл үшін парциал (үлестік) қысым деген жаңа ұғымды енгізді. Парциал қысым деп газ қоспасының әрбір газы осы көлемді жалғыз өзі алатын кездегі қысымды.

Паскаль Заңы - осылай дейді: Тепе-теңдік күйде жатқан сұйық не газға әсер етілген қысым сол сұйық не газдың кез келген нүктесіне барлық бағыттарға бірдей таралады. Бұл заң француз философы Блез Паскаль есімімен аталынған, бірақ та осы заңды Г.Б.Бенедитти (1530-1590) мен Симон Стервин (1548-1620) екеуі 1586 дәлелдеген.

Осы заң сұйық не газ қозғалып жатқанда, бұл заңға сүйенуге болмайды, сондықтан гидродинамика теңдеулерін қолдану керек, сонымен қатар сұйық не газға гравитациялық өріс әсер еткенде.

Бақылау сұрақтары:

1. Қысым дегеніміз не?
2. Газ молекулалар қысымын қалай түсіндіруге болады.
3. Газ қысымымен орташаланған кинетикалық энергиясы арасындағы байланыс.
4. Температура дегеніміз не?
5. Температураның өлшем бірлігі.
6. Абсолюттік нөл деген не?
7. Авогадро саны нені анықтайды?
8. Кельвин шкаласы мен Цельский шкаласының байланысы.

3 тақырып Статистикалық әдіс

3.1 Математикалық статистиканың негізгі түсініктері

Ықтималдылық теорияларының математикалық заңдары физикалық мазмұны жоқ мәнсіз абстракциялар емес; олар табиғаттың жалпы құбылыстарында болатын заңдылықтардың математикалық мәні болып табылады.

Қазіргі кезге дейін кездейсоқ шамаларды үлестіру туралы айтқанда біз осы заңдылықтар қалай құрылғанын және оның қайдан құрылғанын айтқан жоқпыз. Бұл сұрақтың жауабы айқын анықталған – бұл сипаттамалардың негізінде тәжірибе жатыр; ықтималдылық теориясымен орындалатын барлық кездейсоқ шамаларды зерттеу тура немесе жанама тәжірибелік деректерге сүйенеді. Оқиғалар мен олардың ықтималдылығы, үлестіру заңдары және сандық сипаттамалары секілді түсініктерді қолданып ықтималдылық теориясы теориялық жолмен бір оқиғаның ықтималдылығын басқа оқиғаның ықтималдылығы көмегімен, кездейсоқ шамалардың іріктеу заңдылықтары мен сандық сипаттамаларын басқа шамалардың сипаттамалары арқылы анықтауға көмектеседі. Осындай жанама амалдар тәжірибеге жұмсалған уақыт пен амалдарды үнемдеуге көмектеседі, бірақ тәжірибенің өзін шектетпейді. Кездейсоқ оқиғалар аумағында жасалған әрбір зерттеу тәжірибеден, деректерден, бақылау жүйесінен басталады.

Жаппай кездейсоқ құбылыстарды бақылау нәтижесінде алынатын статистикалық, эксперименттік деректерді тіркеу, сипаттау және талдау әдістерін әзірлеу арнайы ғылым – математикалық статистиканы құрайды. Математикалық статистиканың барлық міндеттері жаппай кездейсоқ құбылыстар үстінен бақылауларды өңдеу мәселелерге қатысты, бірақ шешілетін практикалық мәселенің сипатына мен қолда бар эксперименттік материал көлеміне қарай, бұл міндеттер сол немесе өзге пішінді қабылдай алады.

3.2 Молекулалық жүйедегі кездейсоқ оқиғалар мен кездейсоқ шамалар

Іс жүзінде жиі кездесетін математикалық статистиканың кейбір типтік міндеттерін қысқаша сипаттайық. X - кездейсоқ шамаларға жасалған X_1 , X_2, \dots, X_n бірқатар байқаулар жанында статистикалық ұсынылған нақты бақыланған объектілерінің жиынтығы іріктеу болып табылады, ал кез келген қолданыста жүргендер (жоспарланатын) бас жиынтық болып табылады. Басты жиынтық шекті (бақылаулар саны $N = \text{const}$) және шексіз ($N = \infty$) бола алады, ал басты жиынтықтағы іріктеу – бұл әрқашан шектелген n бақылаулар қатарының нәтижесі болып табылады. Іріктеуді құрайтын бақылаулар саны n іріктеудің көлемі деп аталады. Егер іріктеу көлемі айтарлықтай үлкен болса ($n \rightarrow \infty$), онда іріктеу үлкен саналады, ал кері жағдайда ол шектелген көлем іріктеуі деп

аталады. Егер бір өлшемді кездейсоқ шаманы X өлшегенде іріктеу өлшемі 30-дан ($n \leq 30$) аспаса, іріктеу шағын болып саналады, ал көп өлшемді кеңістікте бір уақытта бірнеше белгіні (k) өлшегенде n -ң k -ға қатынасы 10-нан аспайды ($n/k < 10$). Егер оның мүшелері реттік статистика болса, іріктеу вариационды қатар түзеді, яғни кездейсоқ шаманың X іріктеу мәндері өсу реті бойынша реттелсе (сап түзесе), белгінің мәндері не нұсқа деп аталады.

Іріктеме жиынтығы – барлық негізгі жиынтықтан қорытынды жасау үшін, зерттеуге таңдап алынған, негізгі жиынтық нысанының бір бөлігі. Іріктемені зерттеу жолымен алынған қорытындыны, барлық негізгі жиынтыққа тарату үшін, іріктеме қайталап таныстырмалы (репрезентантты) қасиетке ие болу керек.

Негізгі жиынтық – ортақ сапалық белгілері немесе сандық айнымалысы бар, қоғамдық өмірдегі іріктеу тәсілімен зерттелетін құбылыстар мен нысандардың статистикалық жиынтығы

Негізгі жиынтық оған қатысты болуы мүмкін, барлық бірліктерден тұрады. Әдетте оны шексіздікке жуық деп қарастырады. Тұрғындардың денсаулығын іс жүзінде зерттегенде негізгі жиынтықты аумақтық немесе өндірістік нышаны суреттелген, айқын шекара шегінде қарастырады, сондықтан бақылаудың белгілі бір мөлшерін (10000 адам жұмыс жасайтын нақты кәсіпорын) ғана енгізеді. Негізгі жиынтыққа қала, ауыл тұрғындары, мектеп оқушылары және т.б. жатқызуға болады. Негізгі жиынтықты құрайтын барлық бақылау бірліктерін, еңбек сыйымдылығының тереңдетілген сараптамасына байланысты, зерттеуді біршама бірлік бөлігімен – іріктеу жиынтығымен шектейді.

Іріктеме жиынтық – арнай іріктеу тәсілімен таңдалып алынған, негізгі жиынтықтың бір бөлігі.

Іріктеу тәсілінің теориялық негізі ықтималдықтар теориясы мен үлкен сандар заңымен беріледі. Іріктеме жиынтық сараптамасының негізінде барлық негізгі жиынтыққа лайық заңдылықтар жайлы толық мағлұмат алуға болады. Іріктеме жиынтықтың негізгі жиынтыққа қатысты белгілеріндегі ерекшелігіне, барлық белгілерінің құраушысының көрнекілігі – оның қайталап таныстырмалылығы (репрезентаттылығы) болып табылады

Іріктеме жиынтыққа қатысты талаптар:

- 1) ол негізгі жиынтықтың негізгі сипаттамасына ие болуы керек;
- 2) көлемі бойынша жеткілікті болуы керек.

Сондықтан іріктеме жиынтықты, негізгіден кездейсоқ іріктеуді қамтамасыз ететін белгілі бір тәртіппен іріктеп алады.

3.3 Негізгі және іріктеме жиынтық параметрлерінің негізгі сипаттамалары

Зерттеу жүргізгендегі статистикалық қорытынды негізіне кездейсоқ шаманың X үлестірімі жатады, бақылау мәндері (x_1, x_2, \dots, x_n) кездейсоқ шаманы X (n – таңдама көлемі) жүзеге асыру деп аталады. Негізгі

жиынтықтағы кездейсоқ шамаларды үлестіру теориялық, идеалды сипатқа ие, ал оның іріктемелі үйлестігі эмпирикалық үлестірім болып табылады. Кейбір теориялық үлестірімдер талдама түрінде берілген, яғни оларды кеңістіктің әрбір нүктесіндегі мүмкін кездейсоқ шаманың X мәндеріндегі тарату функциясының $F(x)$ мәндері анықтайды. Іріктеме үшін тарату функциясын анықтау қиын, ал кейде мүмкін емес, сондықтан көрсеткіштерін эмпирикалық деректермен анықтайды, сосын оларды теориялық үлестіру арқылы суреттелетін, аналитикалық өрнекке қояды. Сонымен бірге үлестірім түрі бойынша тұжырым (гипотеза) статистикалық тұрғыда дұрыс та, қате де болуы мүмкін. Бірақ кез келген жағдайда эмпирикалық тарату іріктемесін қалпына келтіру тек ақиқатты өрескел суреттейді. Математикалық болжам μ мен дисперсия δ^2 үлестірімнің маңызды көрсеткіштері болып табылады.

Табиғаты бойынша үлестірімдер үзіліссіз және дискретті болады. Неғұрлым танымал үзіліссіз үлестірімге нормаль үлестірім жатады. μ мен δ^2 үшін іріктемелі аналог көрсеткіштері: \bar{x} орташа мәні мен δ^2 эмпирикалық дисперсия болып табылады. Дискретті әлеуметтік – экономикалық зерттеуде альтернативті (дихотомиялық) үлестірім неғұрлым жиі қолданылады. Осы үлестірім үшін математикалық болжамның параметрі, зерттеу қасиетіне x (P әрпімен белгіленеді) ие, бірлік жиынтықтың салыстырмалы шамасын (немесе үлесін) көрсетеді; бұл қасиетке ие емес жиынтықтың үлесі q ($q = 1 - p$) әрпімен белгіленеді. Альтернативті үлестірімнің дисперсиясы да эмпирикалық аналогқа δ^2 ие.

Тарату түріне қарай және жиынтық бірлігін іріктеу тәсіліне қарай үлестіру параметрлерінің сипаттамасы әр түрлі есептеледі. Олардың ішінде ең негізгісі теориялық және эмпирикалық үлестірулер (кесте 1 көрсетілген).

Бірлік іріктеме жиынтық санының бірлік негізгі жиынтық санына қатынасы іріктеменің үлесі k_n деп аталады:

$$k_n = n/N, \quad (13)$$

Іріктемелі үлес w — бұл n іріктеме көлемі бірліктерінің x зерттеу белгісіне қатынасы:

$$w = n_n/n, \quad (14)$$

Іріктеме немесе іріктемелі жиынтық — тәжірибемен (бақылаумен, сауалнамамен) қамтылатын негізгі жиынтық элементтерінің бір бөлігі.

Іріктеменің сипаттамалары:

- іріктеменің сапалық сипаттамалары — іріктемені құрудың қандай тәсілдерін таңдаймыз және қайсын қолданамыз;
- іріктеменің сандық сипаттамалары — қанша жағдайды таңдаймыз, басқаша айтқанда іріктеме көлемі.

1 кесте - Негізгі және іріктеме жиынтықтардың негізгі параметрлері

Үлестіру параметрлерінің сипаттамасы	Жиынтық	
	Негізгі	Іріктемелі
Іріктеменің көлемі	N	N
Альтернативті белгісі		
x белгісіне ие бірлік жиынтықтардың саны	N_x	n_x
Зерттелетін x белгісіне ие бірліктер үлесі	$\frac{N_x}{N}$ $p = N$	$\frac{n_x}{n}$ $w = n$
Дисперсия	$\sigma^2 = p(1-p)$	$\sigma^2 = w(1-w)$
Орташа квадраттық ауытқу	$\sigma = \sqrt{p(1-p)}$	$\sigma = \sqrt{w(1-w)}$
Дисперсия	$\sigma^2 = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N-1}}$	$s^2 = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$
Сандық белгісі		
Орташа квадраттық ауытқу	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N-1}}$	$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$
Белгінің орташа мәні	$\mu = \frac{\sum x_i}{N}$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$

Іріктемелердің қажеттілігі:

- зерттеу нысаны өте ауқымды. Мысалы, ғаламдық компаниялардың өнімдерін қолданушылар – аумақтық шашыраңқы базарлардың үлкен мөлшері;
- бастапқы ақпараттарды жинауға қажеттілігі бар.

Іріктеменің көлемі – іріктемелі жиынтыққа кіретін жағдайлардың саны.

Математикалық статистикада іріктеме көлеміне байланысты түрлі амалдар қолданылатындықтан, іріктемелерді шартты түрде үлкен және шағын деп бөлуге болады. Іріктеменің көлемі 30-дан асса үлкен деп саналады.

3.4 Тәуелді және тәуелсіз іріктемелер

Екі (не одан көп) іріктемелерді салыстырғандағы маңызды параметр олардың тәуелділігі болып табылады. Егер екі іріктеменің (және бұл тұжырым өзара байланысқа негізделген іріктеменің белгісіндегі маңызды болып табылады) әрбір жағдайы үшін гомоморфты жұп (яғни, іріктеменің X бір жағдайының біреуі ғана сәйкес келсе және тек біреуіне ғана Y немесе керісінше) орнату мүмкін болса, ондай іріктемелер тәуелсіз деп аталады.

Сәйкесінше, тәуелді іріктемелер әрқашан бірдей көлемге ие, ал тәуелсіздің көлемі ерекшеленеді.

Іріктемелерді салыстыру әр түрлі статистикалық өлшемдер арқылы жүргізіледі:

- Пирсон өлшемі (χ^2);
- Стьюдент өлшемі (t);
- Манна — Уитни өлшемі (U);
- Белгілер өлшемі (G).

1) **Пирсон өлшемі** немесе келісім критеріі χ^2 – кейбір теориялық үлестірім заңындағы $F(x, \theta)$ бақыланатын іріктеме x_1, x_2, \dots, x_n көлеміне n қатысты гипотезаларды тексеру үшін неғұрлым көп қолданылатын критерий. 1900 жылы Карл Пирсон алғаш критерий құрылымын зерттеді.

Критерийді қарапайым гипотезаларды тексергенде қолдануға болады

$$H_0: F_n(x) = F(x, \theta) \quad (15)$$

Мұнда θ теориялық заңның параметрлеріндегі белгілі вектор, және күрделі гипотезаларды тексергенде қолданылады.

$$H_0: F_n(x) = \{F(x, \theta) \mid \theta \in \Theta\} \quad (16)$$

Үлестірімнің $F(x, \theta)$ скаляр θ немесе векторлық параметрлерін бағалағанда сол іріктеме арқылы есептеледі.

2) **Стьюдент өлшемі** - Стьюдент үлестіріміне негізделген гипотезаларды статистикалық әдіспен тексеру классы үшін ортақ атау. t-критерийінің неғұрлым жиі қолданылуы екі іріктеменің орташа мәндерінің теңдігін тексерумен байланысты.

t-статистика әдетте келесі ортақ қағидалармен құрылады: алымында нөлдік математикалық болжамы (нөлдік гипотезаны орындағанда) бар кездейсоқ шама, ал бөлімінде – дисперсияның ығыстырылмаған бағасынан квадрат түбір сияқты алынатын, осы кездейсоқ шаманың іріктемелі стандарт ауытқуы. .

3) **Манна – Уитни өлшемі** – сандық өлшенген, екі тәуелсіз іріктемелердің арасындағы қандай да бір белгінің деңгейі бойынша айырмашылықты бағалау үшін қолданылатын статистикалық критерий. .

Бұл әдіс екі қатар (бірінші іріктемедегі және дәл сол сияқты екінші іріктемедегі мәндерінің көрсеткіштерін саралайтын қатар) арасындағы айқасқан мәндерінің аймағы жеткілікті аз екенін анықтайды. Критерийдің мәні аз болғанына қарай, іріктемелердегі параметрдің мәндері арасындағы айырмашылық та сол сияқты.

4) **Белгілер өлшемі**

Математикалық статистикада белгілер өлшемі кейбір берілген мәндері (бір іріктеме үшін) медианасының теңдігі нөлдік гипотезасын тексергенде немесе айырым медианасы (екі байланысқан іріктемелер үшін) нөлге тең болғанда қолданылады. Бұл параметрлік емес критерий, яғни ол үлестірім сипатының ешқандай белгілерін қолданбайды, және жалпақ спектр жағдайында олданылуы мүмкін, алайда ол сонымен бірге мамандандырылған критерийге қарағанда шағын қуатқа ие болуы мүмкін.

Репрезентативтік — толығымен іріктеме сипаттамасының популяция сипаттамасына сәйкестігі немесе негізгі жиынтығы. Репрезентативтік жиналған барлық негізгі жиынтықтың айқын іріктемесін қатыстырып зерттеу нәтижелерін қаншалықты жалпылауға болатынын анықтайды.

Сонымен бірге репрезентативтік зерттеу мәселелерінің мәнді көзқарастарын іріктемелі жиынтық ерекшеліктерін негізгі жиынтық көрсеткіштерімен көрсетілуін анықтайды.

3.5 Іріктемелі жиынтықтың негізгі статистикалық сипаттамалары

Іріктемелі жиынтықтың негізгі статистикалық сипаттамалары: орташа мәні, модасы, медианасы, интервалы, іріктеме дисперсиясы, орташа квадраттық ауытқуы, стандарт қателігі, эксцесс, асимметрия.

Орташа мәні — көптеген сандар немесе функциялардың сандық сипаттамасы (математикада) – олардың ең аз және ең көп мәндерінің арасында ішінен алынған кейбір саны.

Математикадағы орташа мәндер баспалдағы:

- функцияның орташа мәні — көптеген тәсілдермен анықталатын, нақтырақ айтсақ, бірақ айнымалы функция негізіндегі сандарды жинақтауда Колмагоровтың орташа мәндерін анықтайтын түсінік.

- орташа дәрежелік — $(x)=x^2$ болғандағы Колмагоровтың орташа мәндерінің жеке жағдайы. Әр түрлі орташа дәрежелер өз арасында орташалар жайлы теңсіздіктерді өзара байланыстырады.

Неғұрлым кең таралған кездейсоқ жағдайлар:

1. орташа арифметикалық ($\alpha = 1$);

2. орта квадраттық ($\alpha = 2$);

3. орташа гармоникалық ($\alpha = -1$);

4. $\alpha \rightarrow 0$ -ден 1-ге дейінгі үздіктілік кезінде, $\Phi(x)=\log x$ болғанда Колмагоровтың орташа мәні болып табылатын, орташа геометриялық мәні анықталады.

Салмақталған орта шама — қисынсыз сызықтық комбинация жағдайына орташа мәнді жинақтау:

1. салмақталған арифметикалық орта шама;

2. салмақталған геометриялық орта шама;

3. салмақталған гармоникалық орта шама;

4. орташа хронологиялық — уақыт бойынша өзгертін, бірдей бірліктер немесе жиынтықтарды қоса алғандағы мәнің жалпылайды.

5. орташа логарифмдік, осы формуламен анықталатын

$$\bar{a} = \frac{a_1 - a_2}{\ln(a_1/a_2)} \quad (17)$$

Жылутехникада қолданылады. Орташа логарифмдік, сәйкесінше МС 25905.4-88 – бен электроизоляцияда былай анықталады

$$\overline{\log a} = \frac{\log a_1 + \log a_2 + \dots + \log a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (18)$$

(кез келген негіздегі логарифм).

Ықтималдықтар статистикасы теориясындағы бөлу орталығының көрсеткіштері:

- параметрлік емес орташалар – мода, медиана.

-кездейсоқшаманың орташа мәні – кездейсоқ шаманың математикалық шамасы сияқты. Шын мәнінде – оның үлестірім функциясының орташа мәні.

Медиана

Медиана – квантиль 0,5 деңгейінің бір өлшемді үлестірімді. Басқаша айтқанда, медиана – бұл сондай m саны $P\{\xi < m\} = 0,5$ немесе $P\{\xi \leq m\} = 0,5$.

Артықшылығы: медиана интуитивтік «орташа» түсінікпен келіседі. Сонымен қоса, тіпті өте «жабайы» шығарындылары медиананы болмашы ғана өзгертпейді. Мысалы, егер жүздеген кедейге (кірістері біркелкі 0-ден 1\$-ға үлестірілсе) бір миллиарддерді қосса, ортасы 0,5\$-дан 1\$-ға дейін дейін өзгереді, сол мезетте медианасы – 0,5\$-дан 0,505\$-ға дейін жетеді. Біркәлыпты функция медиананы өзгертпейді – әрбір біркәлыпты $f(x)$ үшін $\text{Med}f(\xi) = f(\text{Med}\xi)$ құрамдастарының өзара байланысы орындалатын болады. Есепте қиын.

Медианың түсіндірмелі сипаттамасы, бірліктер жиынтығының жартысы қабілетті, түрлендіргіш белгінің сандық шекарасын сипаттайтынын білдіреді.

Медиананы анықтағанда алдымен түрлендірмелі қатарда орналасқан (медианалық интервал) интервал анықталады. Бұл интервал оның жиілігінің жинақталған қосындысы теңдігімен немесе барлық жиілік қатарының жарты қосындысынан асып кетуімен сипатталады. Интервалды түрлендірмелі қатардың медианасын есептеу мына формуламен жасалады:

$$M_0 = x_0 + h \frac{\frac{\sum f}{2} - f_{m-1}}{f_m} \quad (19)$$

мұнда

x_0 – интервалдың төменгі шегі;

h – интервал көлемі;

f_m – интервал жиілігі;

f – қатар мүшелерінің саны;

f_{m-1} – қатар мүшелерінің жинақталған қосындысы, алдыңғы мәліметтегі.

Ізделінді жиынтықтың құрылымын сипаттағанды медианамен қатар, іріктемелі қатарда толықтай белгілі орын алатын басқа да нұсқаларды қолданады. Оларға кватильдер мен децильдер жатады. Кватильдер қатарды жиіліктер қосындысына қарай төрт бірдей бөлікке, ал децильдер – тоғызға бөледі.

Орташа арифметикалықпен салыстырғанда медиана мен моданың айырмашылығы түрлендіргіш белгілерінің мәндерінің дербес

айырмашалықтарды жояды, сондықтан да оның статистикалық жиынтықтығының - өте маңызды және қосымша сипаттамасы болып табылады. Олар тәжірибеде орташаның орнына немесе сонымен қоса жиі қолданылады. Әсіресе ізделінді жиынтық кейбір бірліктер санын түрлендіргіш белгінің өте үлкен немесе өте аз мәндеріне ие болған жағдайда, ерікті түрде медианасы мен модасын есептейді.

Мода

Мода— үлестірім тығыздығы локальді максимумға ие болатын нүкте. Үлестірімнің бірнеше модасы болуы мүмкін.

Артықшылығы: табиғаты сандық емес деректермен жұмыс жасауға мүмкіндік береді..

Мода – берілген жиынтықта жиі кездесетін белгінің шамасы. Вариациялық қатарға моданы қолдану іріктелген қатарда неғұрлым жиі кездесетін мәні болып табылады. Ол жиынтықтың маңызды бөлігіне тән белгінің өлшемін көрсетеді, және осы формуламен анықталады:

жалпы статистикалық теория

$$M_0 = x_0 + h \frac{f_m - f_{m-1}}{(f_m - f_{m-1}) + (f_m - f_{m+1})} \quad (20)$$

мұнда

x_0 – интервалдың төменгі шегі;

h – интервал көлемі;

f_m – интервал жиілігі;

f_{m-1} – алдыңғы интервалдың жиілігі;

f_{m+1} – келесі интервалдың жиілігі.

Кемшілігі: басқа нүктелердегі үлестірімнің жүргізілуін есепке алмайды.

Орта квадраттық ауытқу (синонимы: орта квадраттық ауытқу, орташа квадраттық ауытқу, квадраттық ауытқу; жақын терминдер: стандарт ауытқу, стандарт шашылым) — ықтималдықтар теориясы мен статистикада неғұрлым кең таралған кездейсоқ шаманың оның математикалық болжамына қатысты шашырау мәнінің көрсеткіші. Шектелген іріктемелер мәнінің ауқымында математикалық болжамның орнына іріктемелі жиынтықтың орташа арифметикалық мәні қолданылады.

Орташа квадраттық ауытқу кездейсоқ шаманың өзі өлшенетін бірліктермен өлшенеді және сенімгерлік ықтималдықты өлшегенде, болжамдарды статистикалық тексергенде, кездейсоқ шамалар арасындағы сызықтық өзара қатынастарды құрғанда, орташа квадраттық стандарт қателіктерді есептегенде қолданылады. Кездейсоқ шама дисперсиясының квадраттық түбірі сияқты анықталады.

Стандартты ауытқу (орташа квадраттық ауытқуды кездейсоқ шаманың x дисперсиясын ығыстырылмаған бағалау негізіндегі математикалық бағалауға қатысты бағалауы) s :

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} \sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (21)$$

мұнда

σ^2 — дисперсия;

x_i — іріктеменің i -элементі;

n — іріктеме көлемі;

\bar{x} - іріктеменің орташа арифметикалық мәні:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (22)$$

Екі бағалауды да ығыстырылған екеуін атап өту керек. Жалпылай алғанда ығыстырылмаған бағасын құру мүмкін емес. Алайда ығыстырылмаған дисперсиясының бағасы негізінде бағалау дәлелді болып табылады.

Стандарт қателік (SE) – статистикалық шаманың іріктемесі үлестірімінің стандарт ауытқуы. Бұл термин бұрын бағасын есептеген айрықша үлгіден алынған, стандарт ауытқудың бағалауына жатқызу үшін де қолдануға болады.

Мысалы, орташа үлгі долы жұрттың жай бағалаушысы болып табылады. Алайда тұтас алғанда үлгілердің әр түрлі құндылықтары орташа болып, сол тұрғындардың өзінен тартып алынған әр түрлі үлгілерінде таңдалған құралдардың (оның орташа меншікті және өзгеше) үлестіруі бар.

Орташаның стандарт қателігі (SEM) (яғни ашушаң тұрғындардың орташа үлгісін бағалау әдісі ретінде қолданылады), тұрғындардан тартып алынған барлық мүмкін үлгілердің (берілген мөлшері) типтік құралдардың стандарт ауытқуы болып табылады. Екіншіден, орташаның стандарт қателігі сол уақытта үлгінің берілгендерін сараптағанда есептелген стандарт ауытқуының бағалауына жатқызуға болады. кемімелдік сараптамада «стандарт қателік» термині негізгі қателіктердің стандарт ауытқуының ең кіші квадраттар әдісімен жай бағасын білдіретін шегініс фразасының стандарт қателігін де қолданылады.

Орташа стандарт қателік келесі түрде есептеледі:

$$SEM = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (23)$$

мұнда

s – типтік стандарт ауытқы (яғни, тұрғындардың стандарт ауытқуын бағалау үлгісіне негізделген);

n – үлгінің мөлшері (бақылаулар саны).

Ықтималдылықтар теориясындағы *эксцесс коэффициенті* (шошақ төбе коэффициенті) — кездейсоқ шама үлестірімінің шиеленскен кезіндегі шамасы.

X кездейсоқ шамасы берілген болса, $E|X| < \infty$ тең болады. μ_4 төртінші орталық мезетті білдірсе: $\mu_4 = E[(X - EX)^4]$, ал $\sigma = \sqrt{D[X]}$ - X -тің стандарт ауытқуы. Онда эксцесс коэффициенті мына формуламен беріледі

$$y_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (24)$$

Эксцесс коэффициентінің қасиеті

- $Y_2 \in [-2, \infty]$;

- X_1, \dots, X_n — тең дисперсиялы тәуелсіз кездейсоқ шамалар болсын.

$Y = \sum_{i=1}^n Y_i$ болса, онда

$$y_2 Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_2 X_i, \quad (25)$$

мұнда

$y_2 Y, y_2 X_i, i = 1, \dots, n$ - кездейсоқ шамаларға сәйкес эксцесс коэффициенттері.

Ықтималдылықтар теориясындағы **ассиметрия коэффициенті**— берілген кездейсоқ шама үлестірімінің ассиметриясын сипаттайтын шама.

Кездейсоқ шама X берілген болсын, $E_3|X| < \infty$ болады. μ_3 үшінші орталық мезетті білдірсе: $\mu_3 = E[(X - EX)^3]$, ал $\sigma = \sqrt{D[X]}$ - X -тің стандарт ауытқуы. Онда ассиметрия коэффициенті мына формуламен беріледі:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (26)$$

Өлшеу нәтижесіндегі графикалық суреттеу әдісі

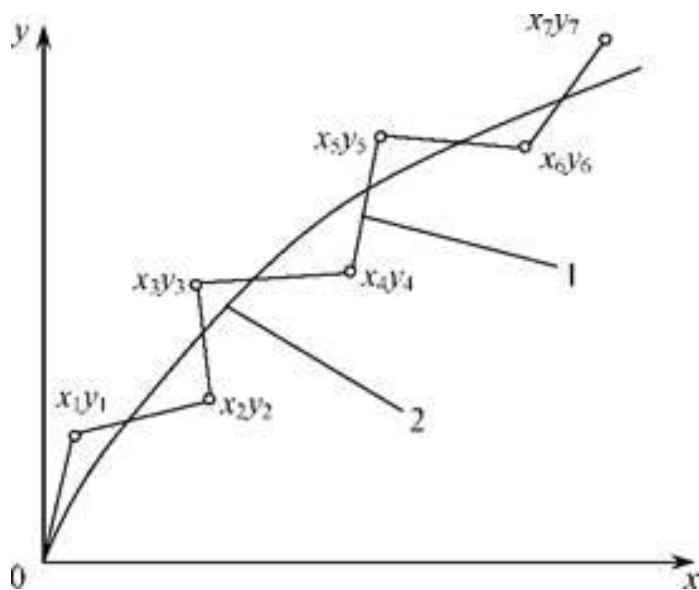
Өлшеу нәтижелерін өңдеу мен бақылау кезінде графикалық суреттеу әдісі кеңінен қолданылады.

Кестелік түрде көрсетілген өлшеу нәтижелері, зерттелетін процесстер заңдылығын жеткілікті көрнекі сипаттауға мүмкіндік бермейді. Графикалық суреттеу өлшеу нәтижелері жайлы неғұрлым көрнекі түсінік беріп, зерттелетін процесстің физикалық түйінін жақсы түсінуге, зерттелетін айнымалы шамалардың функционалды тәуелділігінің жалпы сипатын анықтауға, функцияның минимумы немесе максимумының бар болуын анықтауға мүмкіндік береді.

Өлшеу нәтижелерін өңдеу мен дәлдік дәрежесін бағалағаннан кейін оларды сараптау таблицасына енгізу қажет. Мұндай таблицаның берілгендерін графикалық әдіспен өңдейді.

Өлшеу (бақылау) нәтижелерін графикалық суреттеу үшін, қағида бойынша тікбұрышты координаталар жүйесі қолданылады. Егер $y = f(x)$

функциясын графикалық әдіспен зерттесек, онда тікбұрышты координаталар жүйесіне (3 сурет) $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n$ мәндерін енгізеді.



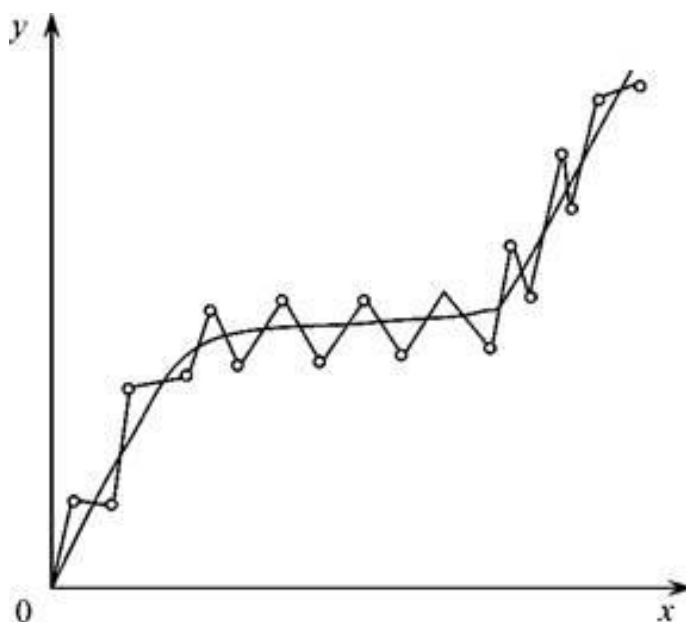
3 сурет - $y = f(x)$ функциясының графикалық суреті:

- 1- тікелей өлшеу нәтижесі бойынша қисығы;
- 2- жазық қисық

Графиктегі нүктелерді бірқалыпты сызықпен барлық тәжірибелік нүктелерге неғұрлым жақын өтетіндей біріктіру қажет. Егер нүктелерді түзу кесінділермен біріктірсек, онда сынық қисық аламыз. Ол тәжірибенің берілісі бойынша өзгертін функцияның өлшемін сипаттайды. Әдетте функциялар ырғақты сипатқа ие. Сондықтан өлшеу нәтижелерін графикалық суреттегенде нүктелер арасында жатық қисықтар жүргізу қажет. Графиктің шұғыл қисаюы өлшеу қателіктерімен түсіндіріледі. Егер де тәжірибені неғұрлым үлкен дәлдікпен өлшейтін құралдар қолдану арқылы қайталаса, онда аздау қателіктер алатын едік, ал сынық қисық жатық қисыққа көбірек сәйкес келуші еді.

Алайда ерекшеліктер де болуы мүмкін. Солай кейде координаталарының біріндегі жылдам секірмелі өзгерісі белгілі бір интервалдарда бақыланатын құбылыстарды зерттеледі (4 сурет). Бұл зерттелетін процесстің түйінімен түсіндіріледі.

Мұндай жағдайларда нүктелерді қисықтармен ерекше мұқият біріктіру қажет. Жалпы барлық нүктелерді жатық қисықпен «орташалау», функцияның кенет өзгеруін өлшеу қателіктеріне ауысуына әкелуі мүмкін.



4 сурет - Секіру болғандағы $y = f(x)$ функциясының графикалық суреті

Кейде графикті құрғанда бір немесе екі нүкте қисықтан тез жойылады. Бастапқыда құбылыстың физикалық түйінін талдап шығу керек, және егер функцияның кенет өзгеруі бар болуын жоспарлауға негіз жоқ болса, онда бұл шұғыл өзгеруді өрескел қателікпен немесе әбестікпен түсіндіруге болады. Бұл өлшеудің өрескел қателіктерінің болуына алдын ала зерттеу жүргізілмегенде өлшеу берілісінде туындауы мүмкін. Осындай жағдайларда нүктелердің жедел ауытқуы диапазонында өлшеуді қайталау қажет. Егер алдыңғы өзгеру қат еболып шықса, онда графикті жаңа нүктеге қояды. Егер де қайталап өлшеу бұрынғы мәнді берсе, бұл қисықтар шегіне өте мұқият қарап және құбылыстың физикалық түйінін ерекше жете зерттеу.

Тәжірибе нәтижесін графикалық суреттегенде координаталар мен координаталық торларды таңдау үлкен рөл атқарады. Координаталық торлар бірқалыпты немесе бірқалыпты емес болады. Бірқалыпты координаталық торлардағы ординаталар мен абсциссалар тең бірқалыпты шкалаға ие. Мысалы, тікбұрышты координаталар жүйесінде кейінге қалдырылған бірлік бөліктері екі осьте де бірдей.

Бірқалыпты емес координаталық торлардың ішінде неғұрлым көп таралғандары жартылай логарифмдік, логарифмдік, ықтималдар.

Бірқалыпты емес торлардың тағайындалуы әр түрлі. Көптеген жағдайда оларды функцияның тым көрнекі суреттерінде қолданады. Функция $y = f(x)$ әр түрлі торларда әр түрлі формаға ие. Солайша көптеген қисық сызықты функцияларды логарифмдік торларда түзулендіреді.

Координаталық осьтер бойынша алынған масштабты әдетте әр түрлі қолданады. Оны таңдаудан графиктің формасы өзгереді: ол осьті жағалай жазық (қысаң) немесе созылыңқы (кең) болуы мүмкін. Қысаң графиктер әдетте y осі бойынша, ал кең – x осі бойынша үлкен қателіктер береді. Дұрыс

таңдалған масштаб зерттеу нәтижелерінің дәлдігін айтарлықтай көтеруге мүмкіндік береді.

Максимумы (минимумы) функциясы бар немесе бұрылыс зоналарындағы ерекше жете сызу қажет қандай да бір күрделі түрі бар есептеу кестелері. Мұндай аумақтардағы нүктелер саны, бірқалыпты аумаққа қарағанда айтарлықтай үлкен болуы керек.

Тәжірибелерді математикалық жоспарлау әдістері

Қазіргі заманғы ғылым мен техниканың дамуы жаңа ғылыми және технологиялық үрдістер құрылуымен және қолданыстағыларды үнемі жетілдірумен байланысты. Оларды әзірлеу және оңтайландыру негізі тәжірибе болып табылады. Тәжірибелік зерттеу және инженерлік әзірлемелердің тиімділігін елеулі арттыру тәжірибелерді математикалық жоспарлау әдістерін пайдалану жолымен қол жеткізіледі. Тәжірибе жасау барысында және алынған деректерді өңдеу кезінде шешім мерзімін барынша қысқартады, зерттеулерге шығындарды төмендетеді және алынған нәтижелер сапасын арттырады.

Тәжірибені жоспарлау мақсаты – неғұрлым аз еңбек жұмсап, объект туралы сенімді және шынайы ақпаратты алу, сондай-ақ бұл ақпаратты сандық бағалау дәлдігімен жинақы және ыңғайлы нысанда беру мүмкін болатын тәжірибе жүргізу шарттары мен ережелерін табу.

Бақылау сұрақтары:

1. Статистикалық әдіс нені зерттейді?
2. Кездейсоқ шама дегеніміз не?
3. Оқиғаның ықтималдығы не деп аталады?
4. Ықтималдықты оқиғаның функциясының қасиеттері қандай?
5. Статистикалық зерттеудің мақсаты қандай?
6. Статистикалық әдістің негізі не?

4 тақырып Молекулалардың жылдамдық бойынша Максвеллдік үлестірілуі

4.1 Максвелл үлестірілуі

Молекулалардың қозғалысы мүлде тәртіпсіз болатындықтан, қанша молекула белгілі бір v жылдамдықпен қозғалады деп деп сұрақ қоюға болмайды, өткені сол кезде осындай жылдамдықпен қозғалатын молекулалардың атымен болмауы мүмкін. Бірақ жылдамдықтары белгілі бір жылдамдықтардың, мысалы, кейбір берілген v_1 және v_2 жылдамдықтардың, аралығында жататын молекулалардың саны туралы айтуға болады. Жылдамдықтардың таралып бөлінуі жөніндегі заңды бірінші рет Максвелл қорытып шығарған. Максвелл ықтималдық теориясын пайдаланып, жылдамдықтары бір v мен $v + \Delta v$ жылдамдықтарының аралығында жататын молекулалардың Δn санын есептеп шығарған.

Максвелл заңының тұжырымдамасын жеңілдету үшін салыстырмалы жылдамдық деген ұғым енгізіледі:

$$u = \frac{v}{v_{\text{ык}}} \quad (27)$$

мұнда

u - салыстырмалы жылдамдық,

v - берілген жылдамдық,

$v_{\text{ык}}$ - берілген газ молекулаларының берілген температурадағы ең

ықтимал жылдамдығы.

Максвелл заңы бойынша салыстырмалы жылдамдықтары u мен Δu аралығында (мұнда Δu шамасы u шамасына қарағанда аз болу керек) болатын молекулалардың Δn саны мынаған тең:

$$\Delta n = \frac{4}{\sqrt{\pi}} n * e^{-u^2} * u^2 \Delta u, \quad (28)$$

мұнда

n – қарастырылып отырған газ молекулаларының толық саны.

Максвелл есептеуі бойынша ең ықтимал $v_{\text{ык}}$ жылдамдық мынаған тең болуы керек:

$$v_{\text{ык}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}, \quad (29)$$

мұнда

μ - берілген газдың молекулалық салмағы,

T - оның абсолют температурасы,

R - газ тұрақтысы.

$R=kN$, ал $\mu =mN$ болатындықтан

мұнда

k - Больцман тұрақтысы,

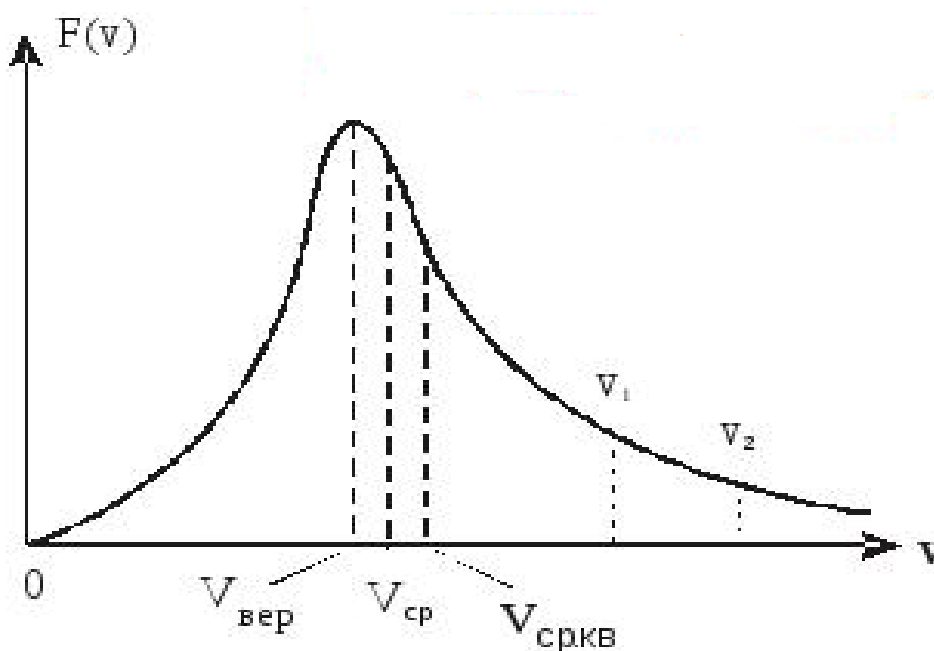
m - берілген газ молекуласының массасы,

N_A - Авагодра саны.

(29) формуланы мынадай түрге келтіруге болады:

$$v_{\text{ык}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \quad (30)$$

Абциссалар осіне молекулалардың u салыстырмалы жылдамдығының мәнін, ал координаталар осіне $\frac{\Delta n}{n * \Delta n}$ шамасының мәнін (бұл шама таралу функциясы деп аталады) салсақ, 5 суретте көрсетілген қисық сызық шығады. $u=1$ болғанда қисықтың максимумы байқалады. Бұл жағдай v жылдамдықтың ең ықтимал ($v_{\text{ык}}$) жылдамдыққа тең мәніне сәйкес келеді.



5 сурет - Молекулалардың жылдамдықтарың модулі бойынша үлестірілуі арқылы

Жылдамдықтары u және $u + \Delta u$ аралықтарында жататын молекулалардың $\Delta n/n$ салыстырмалы саны қисықтың ординатасы мен Δu -дың көбейтіндісіне тең, яғни 5-суреттегі штрихталған бағананың ауданымен кескінделеді.

Максвелл заңы туралы неғұрлым нақтылы түсінік алу үшін мынадай мәліметтерді келтірейік. Азот молекулаларының ($\mu = 28$) 148°C температурадағы ең ықтимал жылдамдығы болады. [3]

$$v_{\text{ык}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2 * 8,31 * 10^7 * 421}{28}} \text{ см/сек} = 500 \text{ м/сек}$$

Мұнымен қатар азот молекулаларының жылдамдық аймақтарына қарай бөлінуі мынадай болады (2 кесте):

2 кесте - Азот молекулаларының жылдамдығы

м/сек есебімен алынған жылдамдықтар аймағы	Азот молекулаларының ($T=421^{\circ}\text{K}$) жалпы санының жылдамдығы көрсетілген шектердің аралығында болатын бөлігі (% есебімен)
$0 < v < 100$	0.6
$100 < v < 300$	12
$300 < v < 500$	30
$500 < v < 700$	29
$700 < v < 1000$	23
$1000 < v$	5.4

4.2 Жылдамдықтар бойынша молекулалардың локальды тепе-тендіктің Максвелл үлестірілу функциясы

Максвеллше жылдамдықтардың таралуы қисығы арифметикалық орташа жылдамдықты табуға мүмкіндік береді: бұл арифметикалық орташа жылдамдықтың өрнегі мынадай болады:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (31)$$

Сонымен, қарастырылған мына үш жылдамдықты:

1) ең ықтимал жылдамдықты

$$v_{\text{ык}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \cong 1,41 \frac{RT}{\mu},$$

2) арифметикалық орташа жылдамдықты

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \cong 1,60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

3) квадраттық орташа жылдамдықты

$$\sqrt{v_2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cong 1.73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

өз ара салыстырсақ, бұлардың ең кішісі ықтимал жылдамдық екендігін, ал ең үлкені орташа квадраттық жылдамдық (5 сурет) екендігін көреміз. Бұл жылдамдықтардың арасындағы қатыс температураға да, газдың тегіне де байланысты емес.

$$dN(v) = N \cdot 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-m_0 v^2 / (2kT)} dv, \quad (32)$$

Молекулалардың жылдамдықтарың модулі бойынша үлестірілуі арқылы Теңдеу (32) жылдамдықтар бойынша молекулалардың үлестірілу заңы немесе Максвелл заңы деп аталады.

Молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы олардың жылдамдықтары арқылы анықталады.

$$f(\epsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \epsilon^{1/2} e^{-\epsilon / (kT)}.$$

$\langle \epsilon \rangle$ идеал газ молекуласының кинетикалық энергиясы.

$$\begin{aligned} \langle \epsilon \rangle &= \int_0^{\infty} \epsilon f(\epsilon) d\epsilon = \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \int_0^{\infty} \epsilon^{3/2} e^{-\epsilon / (kT)} d\epsilon = \frac{3}{2} kT, \end{aligned}$$

Бақылау сұрақтары:

1. Максвеллдің жылдамдықтардың таралуының физикалық маңызы қандай?
2. Ең ықтимал жылдамдық деп?
3. Арифметикалық орташа жылдамдық дегеніміз не?
4. Квадраттық орташа жылдамдық дегеніміз не?
5. Молекулалардың жылдамдықтарың модулі бойынша үлестірілуі ол?
6. Идеал газ молекуласының кинетикалық энергиясы неге тең?

5 тақырып Термодинамика бастамалары. Термодинамиканың бірінші бастамасы

5.1 Термодинамиканың зерттеу пәні

Кез келген дененің немесе жүйенің күйі жұмыс істелгенде өзгереді. Онда жүйенің күйінің өзгеруі өзінің жұмыс істеуімен немесе сыртқы күштердің әсерінен оның үстінен жұмыс істетуімен қабаттас өтеді. Жүйенің күйін анықтайтын параметрлер арқылы бұл жұмысты есептеуге болады.

Егер дененің күйін p , V және T параметрлердің екеуі анықтайтын болса, онда жалпы жағдайда олардың кез келгенінің өзгеруі сыртқы жұмыстың істелуін талап етеді.

Мысалы, газдың температурасын өзгерт, демек қыздыруы немесе суытылуы, сырттан механикалық жұмыс шығыны нәтижесінде (қыздыру) немесе сыртқы күштерге қарсы (суыту) жұмыстың істелу нәтижесінде мүмкін болады.

Сыртқы күштің әсерінен газ сығылып, қызады, осы күшке қарсы механикалық жұмыс істеледі. Ал газ суығанда, ол өзі ұлғайып, жұмыс істейді. Температурасын өзгертпей-ақ газдың көлемін өзгертуге болады, бұл жағдай азә жұмысты талап етеді.

Сонымен газ (немесе басқа денелердің күйін) қандай да бір жылу мөлшерін беріп немесе одан алып, демек оны ыстығырақ немесе суығырақ денемен түйістіріп, газдың күйін өзгертуге болады.

5.2 Термодинамиканың негізгі заңдары

Жүйенің күйін осы тәсілмен өзгерткенде, қандай жұмыс істеледі? Бұл сұраққа жауапты энергияның сақталу заңы береді. Егер газға (немесе басқа денеге) dQ жылу мөлшері мен ішкі энергиясы dU -ға өзгереді.

Энергияның сақталу заңы бойынша жүйенің істейтін жұмысы, оған берілген жылу мөлшері мен ішкі энергиясының өзгеруінің айырымына тең болады:

$$dA = dQ - dU$$

немесе

$$dQ = dU + dA \quad (33)$$

Механикалық және жылулық энергияларына қатысты энергияның сақталу заңы осы (33) өрнекпен анықталады. Осы сақталу заңы термодинамиканың бірінші заңы немесе бастамасы деп аталады.

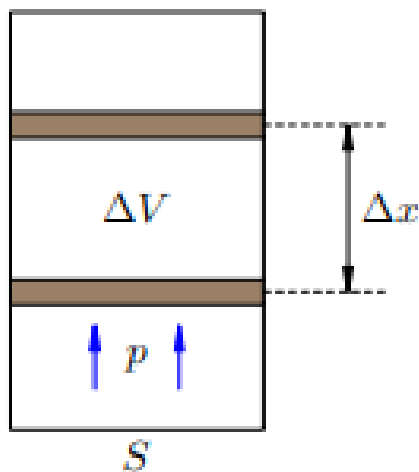
5.3 Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы

Энергияның өзгеруі жүйенің бір күйден екінші күйге қалай өткеніне тәуелсіз, тек бастапқы және соңғы күйлердің қасиеттеріне байланысты болатыны тәжірибеден дәлелденеді. Осы айтылған энергияның сақталу заңының тұжырымының бір түрі ретінде қаралуы мүмкін. Олай болса, жүйе бірдей күйлерде бірдей энергияға ие болады, осы күйлерге өту тәсілдеріне тәуелсіз. Сондықтан, циклдік процестерде жүйе бастапқы күйіне оралғанда, оның энергиясы алғашқы мәніне жетуі қажет. Бұл жағдайда барлық сыртқы әсерлердің механикалық эквиваленті ноль болып қалады.

Бұл ноль болмауы үшін, жүйенің энергиясы өзгеруі қажет, онда оның күйі де өзгеруі керек. Сол себептен, басқа ортада (сыртқы ортада) өзгеріссіз үздіксіз жұмысты өндіретін немесе сырттан энергияны пайдаланусыз шексіз уақыт жұмыс істейтін машинаны жасау мүмкін емес. Мұндай сырттан энергияны пайдаланусыз шексіз уақыт жұмыс істейтін машинаны бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш (латынның *perpetuum mobil* – мәңгілік қозғалыс) дейді.

13 ғасырдан бастап бірінші текті мәңгілік қозғалтқышты жасаудың нәтижесіз әрекеттерін тию үшін 1775 ж. Париждің ғылыми Академиасы арнайы қаулы қабылдады. Бұл қаулы мәңгілік қозғалтқышты жасау мүмкін емес, сондықтан мұндай жобалар қабылданбасын делінді. Себебі, бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасау энергияның сақталу және айналу заңына қайшы, демек термодинамиканың бірінші бастамасына қайшы болып шығады. Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы – термодинамиканың бірінші бастамасының тұжырымдарының бір түрі болады.

Газдың көлемі өзгергендегі, демек газ ұлғайғанда немесе сығылғанда, істелетін жұмысты есептейік. Суретте (6 сурет) ауданы S жылжымалы поршеньмен (тығырықпен) жабылатын ыдысытың (цилиндр) ішінде газ орналасқан.



6 сурет – Газдың жұмысы

Газдың алғашқы көлемі V , қысымы p және температурасы T . Газдың қысымы мен температурасы көлемі өзгергенде тұрақты болып қалады деп қарастырамыз, демек жүйе тепе – теңдік күйде болады.

Сыртқы F күштің әсерінен поршень Δx қашыққа жылжып, газ сығылды делік. Газ тарапынан поршеньге әсер ететін күшпен F күш теңелгенше, газ сығылады.

Теңестірілуші күш $F=pSt$ тең болады.

мұндағы

p – газдың қысымы.

Поршенді dx -қа жылжыту үшін жұмсалған жұмыс (механикадан белгілі)

$$dA=Fdx=pSdx, \quad (34)$$

мұндағы

$Sdx=-dV$, газдың сығылғанда көлемінің өзгеруі, онда істелетін жұмыс мынаған тең болады:

$$dA=pSdx=-pdV \quad (35)$$

Газ ұлғайғанда, демек газдың көлемі dV -ға өскенде, газ тарапынан сыртқы күштерге қарсы $+pdV$ -ға тең жұмыс істелінеді.

Газдың көлемі өзгергенде істелетін жұмыс қысым мен көлемнің өзгерісінің көбейтіндісіне тең болады. (35 өрнек). Бұл теңдеу барлық денелер (жүйелер) үшін орындалады.

Егер жүйенің күйі өзгергенде істелетін сыртқы жұмыс көлемінің өзгеруі есебінен болса, онда термодинамиканың бірінші бастамасы былай жазылады:

$$dQ=dU+pdV \quad (36)$$

Жалпы жағдайда денелердің күйлердің өзгеруі электрлік, магниттік және т.б. қасиеттерімен (параметрлерімен) байланысты болуы мүмкін. Онда (36) өрнектің оң жағында қосымша энергия түрлеріне тәуелді мүшелер кіруі мүмкін.

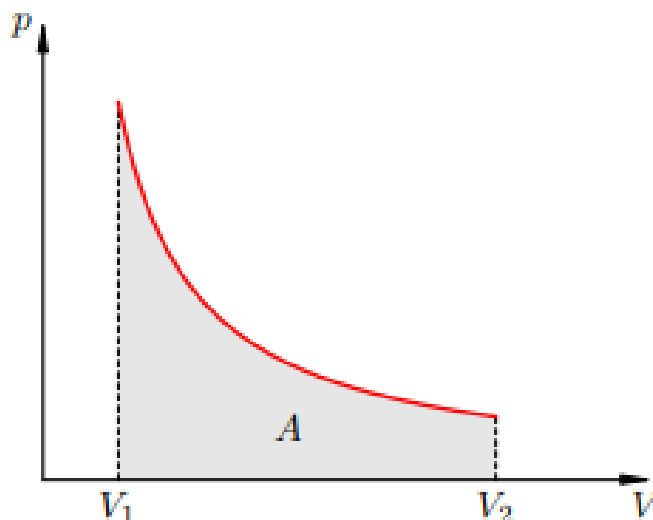
Егер дене 1 күйден 2 күйге өтсе, онда істелетін A жұмыс (35) теңдеуді интегралдау арқылы табылады:

$$F=\int_1^2 dA = \int_1^2 pdV \quad (37)$$

Бұл интегралды график бойынша анықтауға болады. Шынында, $p=f(V)$ қисығында дененің күйі нүктелермен белгіленеді (7 сурет). Егер $p=f(V)$ тәуелділік 1 және 2 қисықпен кескінделсе, онда интегралдық графиктік түрі

$$\int_1^2 p dV$$

Осы қисықтың астындағы штрихталған ауданға тең болады. Егер де газдың газдың күйінің өзгеруі V_1 в V_2 қисықпен кескінделсе, онда бұл ауысудағы жұмыс басқа болады.



7 сурет – Газдың жұмысы интегралдық түрі

Газдың көлемі өзгергенде істелетін сыртқы жұмыс, оның бастапқыдан соңғы күйге өтуіндегі аралықтағы күйлер тізбегіне тәуелді. Сондықтан, әр түрлі күйлерге сәйкес қысымының өзгеруіне байланысты жұмыс та әр түрлі болады. Осыдан жұмыс жүйенің бастапқы және соңғы күйлерімен анықталмайтыны және процестің өтуіне тәуелі екені көрінеді. Егер газдың бірінші p_1 , V_1 күйден екінші p_2 , V_2 күйге өткендегі процесін кескіндейтін қисығы 1 және 2-ге болса, ал жоғарырық орналасқан 1 және 2-ге қисығы келесі процесті сиппатаса (7 сурет), ондағы істелетін жұмыстың мәндері әр түрлі болады. Жоғарырақ орналасқан 1 және 2 қисығымен кескінделген фигураның ауданы 1 және 2 қисықтың астындағы ауданға тең емес. Демек, жұмыс процестің функциясы, ол газдың сығылу және ұлғаю шарттарын көрсеткенде ғана анықталады.

Жылу мөлшері сияқты жүйе ішінде жұмыстың қоры болмайды. Жылу мөлшері және жұмыс тек процеске қатысты анықталады.

Ішкі энергиясын алсақ, ол тек жүйенің күйіне тәуелді, оның өзгерісі дене бір күйден екінші күйге өткен аралықтағы күйлерге тәелсіз:

$$\Delta U = \int_1^2 dU = U_2 - U_1 \quad (38)$$

мұнда

U_1 және U_2 – ішкі энергиясы 1 және 2 күйлерге сәйкес.

Ішкі энергияның шексіз аз өзгерістері үшін термодинамиканың бірінші заңын былай жазуға болады:

$$dU = dQ - dA = dQ - p dV \quad (39)$$

мұнда

dU – ішкі энергияның толық дифференциалы, ол екі күйлер аралығындағы (38 теңдеу) энергияның айырымын көрсетеді.

Ал dQ және dA толық дифференциал бола алмайды, себебі олар шексіз аз берілген (алынған) жылу мөлшері мен жүйенің істеген жұмысы, өтетін процестерге тәуелді. Сондықтан (36) теңдеуді былай жазуға болады:

$$\int_1^2 dQ = U_2 - U_1 + \int_1^2 p dV \quad (40)$$

Дербес жағдайда, газ барлық күй өзгерістерінің нәтижесінде батапқы күйіне қайтып оралды делік, демек $U_1 = U_2$, ал $\Delta U = 0$. Бұл жағдайда газдың күйінің өзгеру процесін дөңгелек немесе циклдік деп атайды. Бұндай процесс тұйықталған қисықпен белгіленеді. Циклдік процесте істелген A жұмыс штрихталған ауданға тең болады. Бұл жұмыс тұйықталған интеграл бойынша былай анықталады:

$$A = \oint p dV \quad (41)$$

Егер циклдік жұмыс оң таңбалы болса, онда газ тарапынан сыртқы күштерге қатысты жұмыс істелді, дене сырттан жұмысқа тең мөлшерде Q жылу алды. Ал A жұмыс теріс таңбалы болса, онда сыртқы күштер дене үстіне жұмыс істейді, бұл кезде жұмысқа тең Q жылу мөлшері бөлінеді.

Сондықтан, циклдік процесте

$$\oint Q = \oint A$$

Осы айтылғандар орындалмас еді, егер циклде өтетін процесс сақталмаса. Олай болса, бұл процестер квазистатикалық болуы қажет. Көлемнің өзгерісі кезінде газдың тепе-теңдік күйі сақталуы керек. Онда бұндай процесстер өте баяу, демек шексіз баяу өтуі қажет. Осы жағдайда тепе-теңдік күйден ауытқулар тез жойылып, газ тепе-теңдік күйлер қатарынан өтіп отырады. Мұндай процестерді квазистатикалық деп атайды, онда әрбір уақыт кезеңіндегі

газдың күй параметрлері барлық көлем бойынша бірдей болып қалады. Тек осындай процесс графиктік түрінде кескінделеді.

5.4 Жылу мөлшері және жылу сыйымдылығы

Термодинамикада денелердің жылулық қасиетін сипаттау үшін жылу сыйымдылық ұғымы қолданылады. Дене берілетін немесе денеден алынатын жылу мөлшері:

$$dQ = mcdT, \quad (42)$$

мұнда

m – дененің массасы;

c – оның меншікті жылу сыйымдылығы;

dT – дене температурасының өзгерісі.

Заттың меншікті жылу сыйымдылығы деп, 1 кг заттың температурасын 1 К-қа қыздыру үшін қажетті жылу мөлшерінің шамасын айтады:

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}, \quad (43)$$

Меншікті жылу сыйымдылығы Дж/(кг·К)-мен өлшенеді.

Газдарға қатысты меншікті жылу сыйымдылығы екі түрлі болады: тұрақты көлемдегі меншікті жылу сыйымдылығы C және тұрақты қысымдағы меншікті жылу сыйымдылығы C_p . Меншікті жылу сыйымдылықтан басқа молярлық жылу сыйымдылығы да қолданылады. Молярлық жылу сыйымдылығы деп, 1 моль заттың температурасын 1 К-қа қыздыру үшін қажетті жылу мөлшерінің шамасын айтады, яғни

$$C_\mu = \frac{dQ}{dT}, \quad (44)$$

мұнда

$$\nu = \frac{m}{\mu} - \text{мольдер саны.}$$

Өлшем бірлігі – Дж/моль·К.

Меншікті жылу сыйымдылығының молярлық жылу сыйымдылығымен байланысы:

$$C_\mu = c \cdot \mu, \quad (45)$$

мұнда

μ - заттың молярлық массасы.

Меншікті жылу сыйымдылығының шамасы денені қыздыру шарттарына тәуелді. Қыздыруды көлем немесе қысым тұрақты болған жағдайда жүргізгендегі жылу сыйымдылығының айырықша маңызы бар. Осы пікірді жете түсіну үшін термодинамиканың бірінші бастамасын 1 моль газ үшін және (45) формулаларды пайдаланып былай жазуға болады:

$$C_{\mu}dT = dU_{\mu} + pdV_{\mu}, \quad (46)$$

Егер қыздыру тұрақты көлем кезінде болса, онда сыртқы денелерге қарсы жұмыс жасалмайтындықтан $pdV=0$ болып, барлық жылу дененің ішкі энергиясын арттыруға жұмсалады:

$$C_V = \frac{dU_{\mu}}{dT}, \quad (47)$$

Егер газды қыздыру тұрақты қысымда өтетін болса, онда газ ұлғаяды да сыртқы денелерге оң жұмыс жасайды. Демек, бұл жағдайда газдың температурасын 1 К арттыруға тұрақты көлем кезіндегіге қарағанда жылу керек болады, өйткені жылудың бір бөлігі газдың істейтін жұмысына кетеді. Сондықтан, тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылығы тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылығынан артық болуы керек, дәлірек айтқанда газдың универсал тұрақтысына артық болады. Енді термодинамиканың бірінші бастамасы бойынша (46) өрнекті былайша жазады:

$$C_p = \frac{dU_{\mu}}{dT} + \frac{pdV}{dT}, \quad (48)$$

Мұндағы

$$\frac{dU}{dT} = C_V.$$

Ал Клапейрон-Менделеев теңдеуін $pV = RT$, $p = const$ деп есептеп, V және T арқылы дифференциалдап $pdV = RdT$ алынған мәндерді (48) формулаға қойсақ:

$$C_p = C_V + R, \quad (49)$$

Бұл Майер теңдеуі деп аталады. Сонымен, идеал газдың 1 молінің температурасын тұрақты қысымда 1 К-қа арттырғанда оның жасайтын жұмысы газдың универсал тұрақтысына тең болады: $A=R$. Сонда меншікті жылу сыйымдылығы дененің тегін сипаттайды екен.

5.5 Идеал газдың ішкі энергиясы және молекуланың еркіндік дәредесі

Молекуланың орташа энергиясы

$$\varpi = \frac{3}{2} kT, \quad (50)$$

Молекуланың тек ілгерілемелі қозғалысының энергиясын ғана көрсетеді. Алайда молекулалардың ілгерілемелі қозғалысымен қатар, олардың айналуы және қозғалысына қатысатын атомдардың тербелуі де мүмкін. Мұндай қозғалыстың екі түрі бір энергия қорымен байланысты болады да, оны анықтауға статистикалық физика тағайындаған энергияның молекуланың еркіндік дәрежелері бойынша таралуы жөніндегі қағида мүмкіндік береді.

Мезаникалық жүйенің еркіндік дәрежелері деп жүйенің орнын анықтауға мүмкіндік беретін тәуелсіз шамалардың жиынтығын айтады. Материалдық нүктенің кеңістіктегі орны оның үш координаттарының мәндерімен анықталады. Осыған сәйкес материалдық нүктенің үш еркіндік дәрежесі $i=3$ болады.

Газдардың жылу сыйымдылығын өлшегенде атомдарды материалдық нүктелер деп есептеуге болады. Демек, бір атомды молекулаға үш ілгерілемелі еркіндік дәрежесін ($i=1$), екі атомды молекулаға үш ілгерілемелі және екі айналмалы еркіндік дәрежесін ($i=5$), ал үш атомды молекулаға – үш ілгерілемелі, екі айналмалы және бір тербелмелі еркіндік дәрежесін ($i=6$) жазуға болады.

Молекуланың еркіндік дәрежелерінің саны қанша болса да, оның үшеуі міндетті түрде ілгерілемелі болады. Сондықтан дәреже мәнінің үштен біріне ($kT/2$ -ге) тең бірдей энергия келуі керек:

$$\varpi_0 = \frac{1}{2} kT, \quad (51)$$

Сол сияқты қозғалыстың ілгерілемелі, айналмалы және тербелмелі қандай түрі болмасын кез келген еркіндік дәрежесіне орта есеппен $kT/2$ тең бірдей энергия келуі тиіс. Осы айтылған тұжырым энергияның еркіндік дәрежелері бойынша біркелкі таралу жалпы ереженің мазмұны болып табылады.

Бір молекуланың орташа энергиясы:

$$\varpi_0 = \frac{i}{2} kT, \quad (52)$$

мұнда

i – ілгерілемелі, айналмалы және екі еселенген тербелмелі еркіндік дәрежелері сандарының қосындысы, ол:

$$i = n_{\text{ШГ}} + n_{\text{АИН}} + 2n_{\text{ГЕРБ}}, \quad (53)$$

Идеал газдар теориясында молекулалардың өзара әсерлесу кезіндегі потенциалдық энергия нөлге тең болады. Сондықтан идеал газдың ішкі энергиясы оның барлық молекулаларының қозғалысының кинетикалық энергиясы арқылы өрнектеледі. Идеал газдың молекулалары өте жақын қашықтықта әсерлесетін болғандықтан, газдың ішкі энергиясы жеке молекулалардың энергиясының қосындысынан тұрады. Демек, идеал газдың 1 мольінің ішкі энергиясы Авогадро санын бір молекуланың орташа энергиясына көбейткенге тең болады:

$$U_0 = \varpi \cdot N_A = \frac{i}{2} k T N_A.$$

Мұндағы Больцман тұрақтысы $k=R/N_A$ десек, онда ішкі энергия:

$$U_0 = \frac{i}{2} RT, \quad (54)$$

Ал массасы m кез келген газ үшін немесе кез келген мольдің саны m/μ үшін ішкі энергия

$$U_0 = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT, \quad (55)$$

Сонымен, (68) өрнектен берілген газдың массасы үшін ішкі энергия газ молекуласының еркіндік дәреже көрсеткіші өзгермейтін болса, оның абсолют температурасына тура пропорционал екендігі көрінеді. [2]

Тұрақты көлемде идеал газдың молярлық жылу сыйымдылығын алу үшін газдың ішкі энергиясының (54) өрнегін температура бойынша дифференциалдаймыз:

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad (56)$$

Бұл өрнектен тұрақты көлемде идеал газдың жылу сыйымдылығы газ күйінің параметрлеріне, әсіресе температураға тәуелсіз тұрақты шама екені көрінеді. Тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылығын Майердің теңдеуінен табуға болады: $C_P = C_V + R = iR/2 + R$.

$$C_P = \frac{i+2}{2} R, \quad (57)$$

Сонымен (56) және (57) формулалар молекуланың еркіндік көрсеткіші арқылы газдың мольдік жылу сыйымдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Енді (57) өрнекті (56) бөліп, әрбір газға тән C_p -нің C_v –ге қатынасын табайық:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\left(\frac{i}{2}\right)R} = \frac{i+2}{i}, \quad (58)$$

Соңғы өрнектен γ шамасы молекуланың еркіндік дәрежесінің саны мен сипаты арқылы анықталады.

Мысалы, бір атомды молекула үшін, $i=3$ болғандықтан:

$$\gamma = \frac{5}{3} = 1,67,$$

қатаң екі атомды молекула үшін ($i=5$), $\gamma = \frac{7}{5} = 1,40$;

қатаң үш атомды молекула үшін ($i=6$), $\gamma = \frac{8}{6} = 1,33$.

Ең соңында әр түрлі молекулалар үшін C_p , C_v және γ мәндері бар кескені көрсетейік (3 кесте).

3 кесте - Әр түрлі молекулалар үшін C_p , C_v және γ мәндері

Газ немесе бу	Молекуладағы атомдар саны	Еркіндік дәреже саны i	Еркіндік дәреже саны			C_p	C_v	γ
			ілгерілемелі	айналмалы	тербелмелі			
Бір атомды газ (He, Ar)	1	3	3	-	-	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	1,67
Екі атомды (H ₂ , O ₂)	2	5	3	2	-	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	1,40
Көп атомды газ (NH ₃ , H ₂ O)	3	6	3	3	1	$\frac{7}{2}R$	$\frac{9}{2}R$	1,30
Кемір қышқыл газ (CO ₂)	3	6	3	3	-	$\frac{6}{2}R$	$\frac{8}{2}R$	1,33

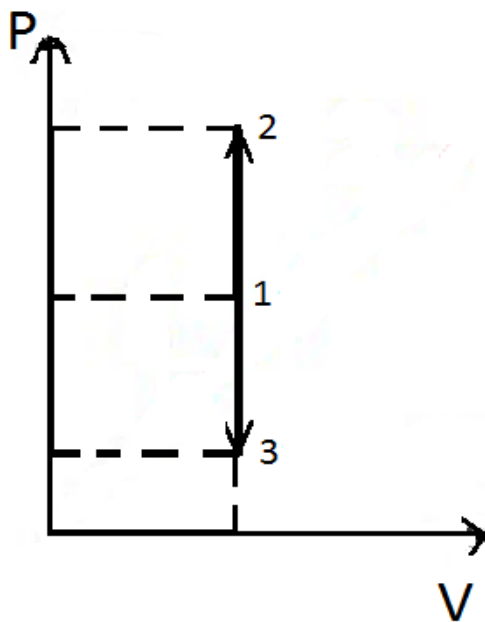
5.6 Термодинамиканың бірінші бастамасын изопроцестерге қолдану

Изопроцесс – негізгі термодинамикалық параметрлердің бірінің тұрақты мәні кезінде болатын процесс - P, V немесе T.

Изохорлық процесс деп, берілген газдың көлемі ($V = \text{const}$) тұрақты болғанда жүретін процесті атайды. Сонда ешқандай көлем өзгерісі болмайды да ($dV=0$) газ сыртқы күштерге қарсы жұмыс жасамайды:

$$dA = \int_1^2 p dV = 0$$

Осы процестің диаграммасын былайша кескіндеуге болады (8 сурет).



8 сурет – Изохорлық процесс қыздыру және суыну

Мұндағы 1-2 газдың изохоралық қыздыру процесін, ал 1-3 газдың изохоралық суыну процесін көрсетеді.

Әдетте изохоралық процесс көлемі өзгермейтін, қабырғалары қалың ыдыстың ішінде газды суыту немесе қыздыру арқылы орындалады. Термодинамиканың бірінші бастамасы бойынша $dQ=dU+dA$, $dA=0$ болғандықтан, газды қыздыруға немесе суытуға берілген барлық жылу мөлшері тек газдың ішкі энергиясын арттыру үшін ғана жұмсалады:

$$dQ=dU, \quad (59)$$

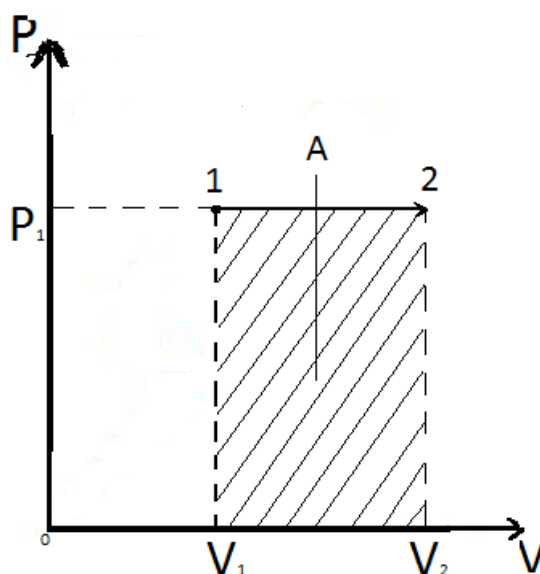
Ал тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылық: $C_v = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} = \frac{1}{m} \frac{dU}{dT}$,

$$dU = mC_v \cdot dT, \quad (60)$$

яғни идеал газдың ішкі энергиясының өзгерісі оның абсолют температурасының өзгерісіне тура пропорционал болады.

Изобаралық процесс.

Бұл процесс берілген газдың қысымы ($p = \text{const}$) тұрақты болғанда жүреді. Оның диаграммасын p - V координаттары арқылы кескіндеп көрсетуге болады (9 сурет).



9 сурет – Изобаралық процесстің диаграмма p - V

Сонда 1-2 кесіндісі газдың изобаралық ұлғаюын көрсетеді де, штрихталған аудан изобаралық жұмыстың шамасын анықтайды:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1), \quad (61)$$

Мысалы, цилиндрдің ішінде ілгерілемелі еркін қозғалатын поршень мен цилиндрдің арасындағы газ қыздырудың немесе суынудың нәтижесінде изобаралық жұмыс жасайды. Термодинамиканың бірінші бастамасын ескеріп:

$$dQ = C_v dT + p dV, \quad (62)$$

мұндағы

C_v – изохоралық жылу сыйымдылығы.

Сонымен, изобаралық процесс кезінде газға берілген жылу мөлшері оның ішкі энергиясын арттыруға және сыртқы күштерге қарсы істелген жұмысқа жұмсалады.

Изобаралық жылу сыйымдылық:

$$C_p = \frac{dQ}{dT}, \quad dQ = C_p \cdot dT$$

Енді dQ мәнін орнына қойып (62) теңдеуді

$$C_p \cdot dT = C_v \cdot dT + p dV, \quad (63)$$

түрінде жазуға да болады.

Сөйтіп, изобаралық процесс кезінде массасы m газға берілетін жылу мөлшері:

$$dQ = \frac{m}{\mu} C_p dT$$

Оның ішкі энергиясының өзгерісі тең

$$dU = \frac{m}{\mu} C_v dT.$$

Изотермалық процесс.

Бұл процесс температура ($T=\text{const}$) тұрақты болғанда өтеді де, оның теңдеуі Бойль-Мариотт заңы болып есептеледі:

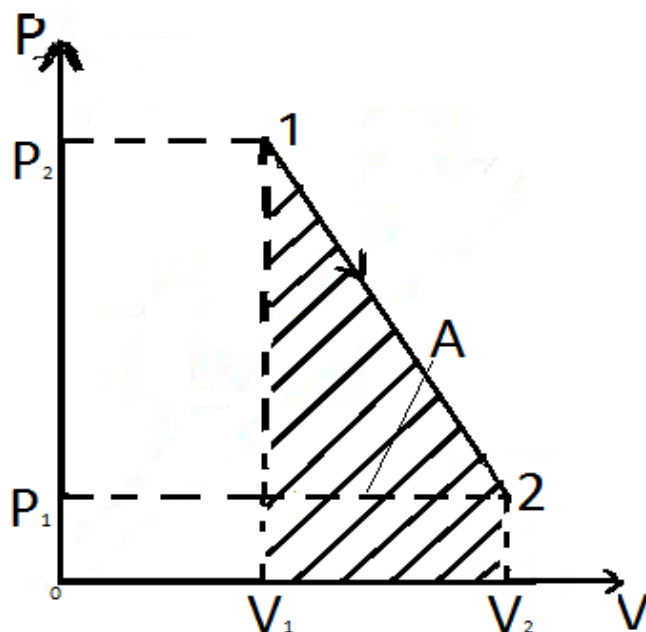
$$PV=\text{const}$$

Бұл процестің диаграммасы P, V координатындағы изотерма болып, оның түрі гипербола қисығына сәйкес келеді (10 сурет).

Берілген газдың көлемі V_1 -ден V_2 -ге ұлғай, анда істелген жұмыс

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (64)$$

10 суретте штрихталған ауданға сәйкес келеді.



10 сурет – Изотермалық процес

Практикада изотермалық процесті іске асыру үшін, температурасы тұрақты ($T=\text{const}$) үлкен массалы дене мен газ арасында әр уақытта температуралық байланыс болуы шарт. Газға берілген жылу мөлшері толығымен жұмыс істеуге жұмсалады да, оның ішкі энергиясы өзгермей тұрақты болады, яғни

$$dQ = dA = \int_1^2 p dV \quad \text{немесе} \quad dQ = dA = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (65)$$

Сонымен, изотермалық процесс кезінде газдың температурасын төмендетпеу үшін сыртқы жұмысқа шамалас жылу мөлшері беріліп тұруы қажет.

Адиабаталық процесс.

Адиабаталық процесс деп жүйе мен оны қоршаған сыртқы ортаның арасында ешқандай жылу энергиясының алмасуы болмайтын процесті айтады. Бұл қондырғыларда, іштен жанатын қозғалтқыштардың циклді жұмысында тағы басқа жерлерге қолданылады. Процесте жылу алмасу болмағандықтан, $dQ=0$. Адиабаталық процесс берілген газдың өте тез ұлғаюының немесе сығылуының нәтижесінде орындалады. Сондықтанда процестің орындалу шарты – газ және оны қоршаған ортаның арасында ешқандай жылу алмасуы болмауы керек.

Заттың жылу сыйымдылығы адиабаталық процесте нөлге тең болады. $C_V=0$. Олай болса, термодинамиканың бірінші бастамасы

$$dA=dU, \quad (66)$$

сөйтіп, сыртқы күштерге қарсы істелген жұмыс жүйенің ішкі энергиясының өзгеру әсерінен пайда болады. Бұдан адиабаталық процестің изотермалық процеске қарсы өтетінін байқаймыз Егер (79) теңдеуге мәндерін қойсақ

$$C_v \cdot dT = -pdV, \quad (67)$$

Енді идеал газ кү інің теңдеуін $PV=RT$ дифференциалдасақ

$$pdV + Vdp = RdT, \quad (68)$$

Соңғы (68) формуладан абсолют температураның өзгерісін (dT) тауып және универсал газ тұрақтысының мәнін ($R=C_p-C_v$) (67) теңдеуге қойып түрлендірсек:

$$pdV + C_v dT = 0$$

$$pdV + \frac{C_v}{C_p - C_v} (pdV + Vdp) = 0,$$

$$C_p pdV + C_v Vdp = 0$$

Теңдеуді мүшелеп (pV) -ға бөліп, $C_p \frac{dV}{V} + C_v \frac{dp}{p} = 0$, оны интегралдасақ:

$$\ln p + \frac{C_p}{C_v} \ln V = \ln C = const$$

Ал, $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$ деп белгілесек:

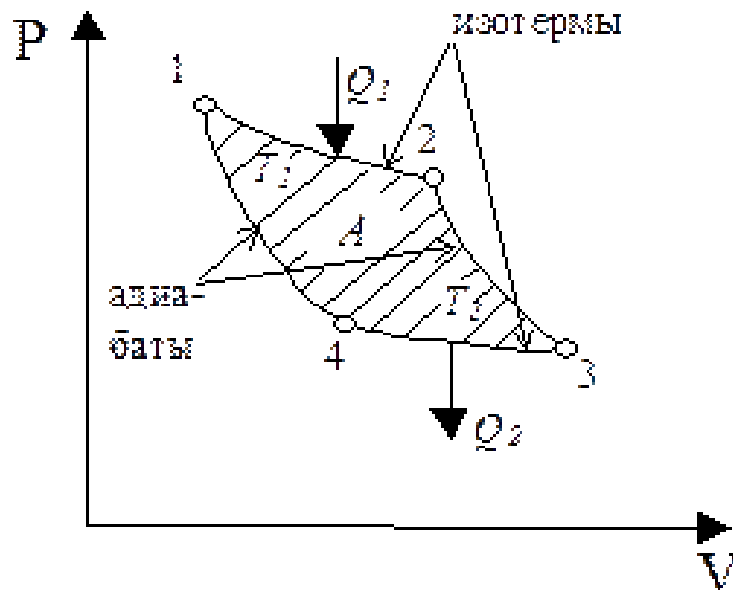
$$pV^\gamma = const, \quad (69)$$

Осы табылған өрнек адиабаталық процесс кезіндегі газ күйінің теңдеуі немесе Пуассон теңдеуі деп аталады. (69) теңдеудегі γ өлшемсіз шама:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}, \quad (70)$$

ол Пуассон коэффициенті болып есептеледі.

Адиабаталық процестерін pV координаттарындағы диаграммасы гиперболола қисығымен кескінделеді (11 сурет).



11 сурет – Адиабаталық процесс

Сонымен адиабата қисығының теңдеуі $PV^\gamma = const$ болса, изотерма қисығының теңдеуі $pV = const$. 11 суреттен адиабата қисығы изотерма қисығына қарағанда тіктеу екенін көрсетеді. Мұның себебі адиабаталық сығылу кезінде оның қысым изотермалық сығылуға сәйкес өседі, сонымен қатар оның температурасы да артады. Ал, енді адиабаталық ұлғаю кезінде газдың температурасы төмендейді, сондықтан газдың қысымы изотермалық қысымға қарағанда өте тез кемиді. Олай болса, адиабаталық ұлғаю кезіндегі газдың бір молінің істеген жұмысы штрихталған ауданмен кескінделеді

$$A = \int_1^2 p dV = p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} (V_2^{1+\gamma} - V_1^{1+\gamma}) = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left\| 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right\|, \quad (71)$$

мұндағы

$$p_1 V_1 = RT_1$$

Енді $\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$ қатынасын ескеріп, (84) теңдеуді мына түрде жазуға болады:

$$A = R(T_1 - T_2)/(\gamma - 1)$$

Берілген газ күйінің $p_1 V_1$ -ден басқа V_2 -ге ұлғаюы кезінде істелген адиабаталық жұмыс, изотермалық жұмысқа қарағанда кем екенін байқаймыз (11 сурет, изотерма қисығы жоғары орналасқан). Адиабаталық процесс кезінде газ суынып, температурасы төмендесе, изотермалық процесс кезінде, керісінше,

тұрақты температураны термостаттан келетін жылу мөлшері әсерінен ұстап тұрады. Сондықтан изотермалық процесс кезінде газ көлемінің ұлғаюы мен тығыздығының кемуінің салдарынан оның қысымы да азаяды, ал адиабаталық процесте, керісінше, газ тығыздығы азайған сайын оның орташа кинетикалық энергиясы кемиді, яғни температурасы төмендейді.

Бақылау сұрақтары:

1. Кез келген жүйенің параметрлерін анықтап бер.
2. Дененің күйін p, V және T параметрлерін қалай өзгертуге болады.
3. Энергияның сақталу заңы бойынша жүйенің істейтін жұмысы неге тең.
4. Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы.
5. Газдың көлемі өзгергендегі жұмыс.
6. Квазистатикалық процестері дегеніміз не?
7. Ішкі энергия дегеніміз не?
8. Қай процессте дененің істейтін жұмысы ішкі энергияның кеміне тең.

6 тақырып Термодинамиканың екінші бастамасы

6.1 Карно циклі. Карно теоремасы және Клаузиус теоремасы

Карно циклі барлық дөңгелек процестердің ішінде ерекше орын алады. Ол бір қыздырғыш (T_1) пен бір салқындатқыш (T_2) арқылы қайтымды түрде орындалатын бірден-бір цикл. Карно циклі екі изотерма және екі адиабатадан тұрады. Жұмыс денесін идеал газ деп алсақ, қайтымды Карно циклі үшін ПӘК-і

$$\eta_0 = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$
$$\eta_0 = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (72)$$

Карно теоремасы.

Қайтымды Карно циклінің ПӘК-і жұмыстық дененің табиғатына және осы циклді жасайтын жүйенің құрылғысына тәуелсіз, ол тек қыздырғыш T_1 пен салқындатқыштың T_2 температуралары арқылы анықталады;

– Қайтымсыз машиналардың ПӘК-і (қайтымсыз цикл бойынша жұмыс істейтін) қайтымды машиналардың ПӘК-не қарағанда кіші, яғни $\eta < \eta_0$. Олай болса,

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (73)$$

Макрожүйелерде нақты қайтымды процестер болуы мүмкін емес, сондықтан (72) өрнегі асимптотикалық сипатқа ие, яғни дәл мәнін көрсету мүмкін емес.

Карно теоремасы (73) термодинамиканың екінші заңының математикалық өрнегін береді, ол бір қыздырғышы мен бір салқындатқышы бар тұйық процестер үшін ғана қолданылады. (73)-гі теңдік белгісі қайтымды процестер үшін, теңсіздік белгісі – қайтымсыз процестер үшін қойылады.

Кез келген цикл жағдайында Карно теоремасының жалпылама түрі Клаузиус теңсіздігін береді (Клаузиус теоремасы)

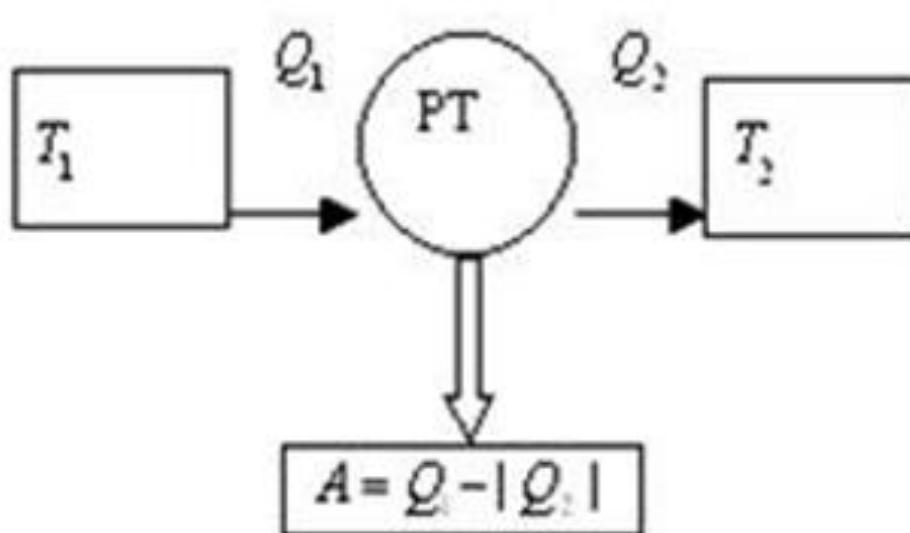
$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0. \quad (74)$$

6.2 Дөңгелек процестер. Жылу машиналарының ПӘК-і

Термодинамиканың бірінші бастамасы жүйенің сыртқы денелерден алған жылу есебінен жұмысты атқару мүмкіндігі болатынын көрсетеді. Мысалы, 1-2 күйлердің арасында идеал газды изотермиялы ұлғайтса $Q_1 = A_{12}$.

Бірақ, жылу машиналарының жұмыс істеуі дөңгелек (циклдік) процестерге негізделген. Дөңгелек процесс деп жүйенің жүйеде өтетін өзгерістерден кейін бастапқы күйіне қайтып келуін айтады. Мұндай жағдайда Q_2 жылу мөлшерінің қандай да бір бөлігі ортаға қайтып беріледі.

Жұмыс денесі қыздырғыштан Q_1 жылуды алып, салқындатқышқа Q_2 жылуды береді және осы жылу мөлшерлерінің айырмасы $A = Q_1 - |Q_2|$ пайдалы жұмысты береді (12 сурет).



12 сурет – Жылу машинасының жұмыс істеуі

Жылу двигателінің тиімділігі оның пайдалы әсер коэффициентімен сипатталады

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < 1 \quad (75)$$

(75) өрнегі жылу машиналарының ПӘК-і әрқашан бірден кіші болатынын көрсетеді. Бұл қорытынды термодинамиканың бірінші бастамасының салдары болып табылмайды, ол негізгі заңдардың тағы бір түрі – термодинамиканың екінші заңының мазмұнын сипаттап береді. Бұл заңның басқа тұжырымдамалары:

- тек қана жұмыс өндіретін немесе бір жылулық резервуармен энергия алмасуын жасайтын циклдік процесс болуы мүмкін емес (У.Томсон);
- екінші текті мәңгі двигатель болуы мүмкін емес (В.Оствальд);
- салқын денеден ыстық денеге жылу берілуі мүмкін болатын циклдік процесс болуы мүмкін емес (Р.Клаузиус).

Екінші бастаманың эмпирикалық тұжырымдамалары математикалық түрде тұжырымдалмайды. Олар бір-біріне эквивалентті.

6.3 Энтропия. Энтропияның статистикалық түсіндірмесі

Кез келген қайтымды цикл үшін Клаузиус теоремасын жазайық

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (76)$$

(76) интегралдың нөлге тең болуы $\frac{dQ}{T}$ шамасы қандай да бір S күй функциясының толық дифференциалын береді. Сондықтан

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \text{және} \quad S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (77)$$

(77) формуласын термодинамикадағы энтропияның анықтамасы ретінде қарастыруға болады.

(77) анықтамадан туындайтын энтропияның кейбір қасиеттері:

- жүйенің энтропиясы - аддитивті шама $S = \sum S_i$;
- жылу алмасусыз жүретін қайтымды процесте ($dQ = 0$) – адиабаталық процесте- энтропия тұрақты болады;
- процестің энтропиясы қандай да бір тұрақты шамаға дейінгі дәлдікпен анықталуы мүмкін.

Қайтымды процестегі энтропияның өзгерісі қатынастары негізінде есептеледі

$$TdS = dU + dA \quad (78)$$

Жылулық процестерді талдау үшін координат осьтері ретінде T және S күй функциялары алынатын TS – диаграммасы қолданылады.

Энтропияның физикалық мағынасы статистикалық физикада нақтылана түседі. Л.Больцман S энтропияның микрокүйлер санының Ω логарифмімен анықталатынын көрсетті

$$S = k \ln \Omega, \quad (79)$$

мұнда

k – Больцман тұрақтысы;

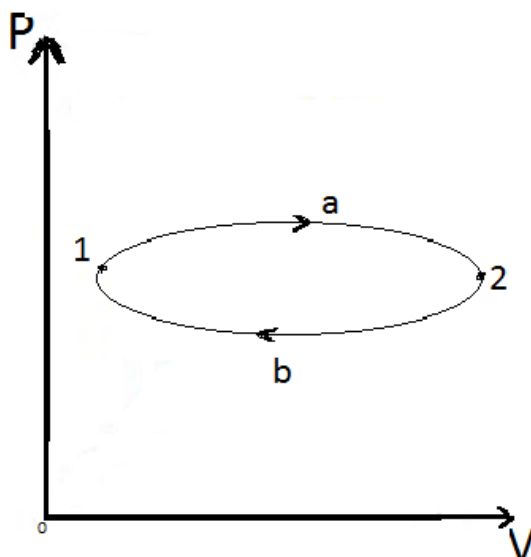
Ω – берілген макроқұйдің статистикалық салмағы.

(79) формуласы Больцман формуласы деп аталады. Ол энтропияның мағынасын көрнекі түрде түсіндіріп береді.

Барлық атомдар белгілі орындарға мықтап бекітілген деп қарастырайық. Онда тек қана бір микроқұй бар деп айтуға болады, яғни $\Omega = 1$ және $S = 0$. Жүйеге қандай да бір жылу мөлшерін берсек, ішкі құрылымның ретсіздігін және оны құрайтын бөлшектердің қозғалысының бейберекетсіздігін арттырады (Ω артады). Сондықтан, энтропияны ретсіздік өлшемі деп айтуға болады.

Энтропия, энергия сияқты жүйе күйін сипаттайтын шама болып табылады.

Энтропия Дж/(моль·К)-мен өлшенеді. Егер тепе-тең жағдайдағы жүйе 1-күйден 2-күйге өтетін болса, онда энтропияның өзгерісі (13 сурет):



13 сурет – Энтропияның өзгерісі

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dU + dA}{T}, \quad (80)$$

Яғни, бұл айырма 1- және 2- күйлердің арасында өтетін кез келген қайтымды процесте жылудың келтірілген мөлшерінің қосындысына тең болады. Жоғарыда айтылғандай энтропияның абсолют мәнін анықтауға мүмкіндік жоқ, тек 1-және 2-күй энтропияларының ($S_2 - S_1$) айырымын ғана тағайындауға болады.

Енді (80) өрнекке сүйене отырып, идеал газда өтетін процестер энтропиясының өзгерісін анықтайық.

$$\text{Мұндағы ішкі энергия өзгерісі } dU = \frac{m}{\mu} C_v dT ,$$

Жұмыс $dA = p dV = \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}$ болса, онда 1-күйден 2-күйге ауысқанда энтропияның өзгерісі:

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} ,$$

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \frac{m}{\mu} \left(C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (81)$$

Сөйтіп, идеал газ энтропиясының өзгерісі $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$ жүйе 1-күйден 2-күйге ауысқанда, процестің өту тәртібіне тәуелді болмайды.

Оқшауланған жүйе жағдайында от тұтас алғанда, яғни адиабаталық процесс үшін жылу алмайды да бермейді де:

$$dQ = 0 , \quad \Delta S = 0 , \quad S = const$$

Сонда адиабаталық қайтымды процестер энтропия тұрақты болғанда ған өте алады. Ал изотермалық процестер кезінде $T_1 = T_2$ болатындықтан, энтропия өзгерісі:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{V_2}{V_1}$$

ал изохоралық процесс үшін ($V_1 = V_2$) энтропия өзгерісі

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Барлық оқшауланған жүйеде қайтымсыз процестер өткенді жүйе энтропиясы артады. Энтропия реттелмеген, ретсіз жүйе мөлшерін көрсетеді. Энтропияның абсолют мәндерін анықтау үшін оның ең болмағанда қандай да бір белгілі температура кезіндегі абсолют мәнін білуі керек. Энтропияның мұндай бәр мәнін Нернст ұсынған термодинамиканың үшінші бастамасы деп аталатын теорема анықтап береді. Нернст теоремасы бойынша температура абсолют нөл болғанда қандай дененің болмасын энтропиясы нөлге тең ($S=0$). Бұл қағиданы былайша түсіндіруге болады. Клаузиустың ұйғаруынша, егер бүкіл әлем кеңістігін оқшаулаған жүйе деп қарастырып, оған

термодинамиканың екінші бастамасын қолдансақ, онда оның энтропиясы бара-бара өзінің ең жоғарғы максимум мәніне жетуі керек, сөйтіп барлық қозғалыс түрі келешекте жылуға ауысып, барлық ыстығырақ денелердің температуралары суығырақ денелерге өтіп, әлемде тепе-теңдік күй қалыптасады. Осының салдарынан әлем кеңістігіндегі барлық процесстер тоқталып, жылулық апат қаупі туады деді.

6.4 Термодинамиканың екінші заңы – энтропияның өсу заңы

Термодинамиканың екінші заңының барлық қаралған тұжырымдамалары процестің мүмкіндіктерін талдау үшін энергия мөлшерінің сақталуының жеткіліксіз екенін көрсетеді. Энергия сандық түрде ғана емес, сапалық түрде де сипатталуы қажет. Энергияның сапасын анықтайтын және термодинамиканың екінші заңындағы шектеулерді сандық түрде сипаттайтын шама S энтропия болып табылады.

Термодинамиканың екінші заңының жалпылама тұжырымдамасы энтропия ұғымымен байланысты:

оқшауланған жүйеде энтропия артпайды

$$\Delta S \geq 0, S_2 \geq S_1. \quad (82)$$

(82) өрнегінде теңдік белгісі жүйеде тек қайтымды процестер жүрсе, қойылады, демек, энтропия тұрақты. Барлық нақты процестердің барлығы қайтымсыз болғандықтан оқшауланған жүйеде энтропия әрдайым артады. Энтропияның артуы жүйенің ықтималдылығы аз күйден ықтималдылығы көп күйге, яғни тепе-теңдік күйге ауысуын көрсетеді.

Бірақ флуктуациялар да болуы мүмкін. Оқшауланған жүйедегі энтропияның арту заңы статистикалық сипатқа ие.

(82) –да математикалық түрде өрнектелген термодинамиканың екінші заңы оған дейін қарастырылған тұжырымдамалармен астасады.

Жылу машиналарының жұмысын талдасақ, жүйеге dQ жылу түрінде берілген барлық энергияны dA жұмысқа айналдыру үшін оның қандай да бір бөлігі жеткілікті

$$dA = \eta dQ = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) dQ = dQ - T_2 \frac{dQ}{T_1} = dQ - T_2 dS,$$

және неғұрлым аз болса, соғұрлым энтропия көп болады. Бұл жағдай энтропияны жұмыс істеу қабілетінің өлшемі деп сипаттауға мүмкіндік береді. Жүйенің энтропиясының артуы табиғи процестердің ерекше белгісі болып табылады және энергия сапасының төмендеуіне алып келеді. Оқшауланған жүйе әрқашан энтропиясы максимал мәнге жететін, ал энергия «күнсызданатын» термодинамикалық тепе-теңдік күйге өтеді.

Энтропия ұғымы тек оқшауланған жүйелерге ғана емес, ашық жүйелерге де қатысты. Әр түрлі техникалық құрылғылар мен технологияларды жасауда энергия, энтропия және жүйенің жұмыс істеу мүмкіндігінің арасындағы байланысты назарда ұстау қажет.

Бақылау сұрақтары:

1. Кез келген жүйенің параметрлерін анықтап бер.
2. Дененің күйін p, V және T параметрлерін қалай өзгертуге болады.
3. Энергияның сақталу заңы бойынша жүйенің істейтін жұмысы неге тең.
4. Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы.
5. Газдың көлемі өзгергендегі жұмыс.
6. Квазистатикалық процестері дегеніміз не?
7. Ішкі энергия дегеніміз не?
8. Қай процессте дененің істейтін жұмысы ішкі энергияның кеміне тең.

7 тақырып Тасымалдау процестері

7.1 Тасымалдау құбылысы

Статистикалық физика денелердің тепе-тең күйлерін қарастырады. Ал тепе-теңдік күйден ауытқыған кезде пайда болатын құбылыстарды зерттейтін сала – физикалық кинетика.

Сонымен қарастырып отырған көлемдегі газ молекулалары бір орнынан екінші орынға диффузия, ішкі үйкеліс және жылу өткізгіштік құбылыстары арқылы тасымалдануы мүмкін. Берілген көлемде екі түрлі газ немесе молекулаларының саны әр түрлі біртекті газ болсын. Олар молекулалардың жылулық қозғалысының әсерінен бір-бірімен араласып, соңында екі газдағы молекулалар саны теңеседі. Яғни, газ молекулалары ретсіз қозғалып отырады, осыдан барып тиісіп тұрған әр текті екі газ бір-бірімен араласады, яғни диффузияланады. Сөйтіп диффузия құбылысы пайда болады.

Ал кейбір газдар бір-бірінен молекулаларының орташа кинетикалық энергиясы немесе температурасының өзгешелігінен екі түрлі болуы мүмкін. Егер осы газ молекулаларының бір бөлігін басқа жаққа тасымалдайтын болсақ, онда олардың температуралары барлық жерде бірдей болады. Сөйтіп температура алмасуының әсерінен жылу өткізгіштік құбылысы пайда болады.

Ең соңында газдық қабаттар әр түрлі жылдамдықпен қозғалғанда олардың арасында күш пайда болады. Жылдамырақ қозғалатын қабат баяу қозғалатын қабатты өзімен ілістіріп шапшаңдатады және керісінше, баяу қозғалатын қабат жылдам қозғалатын қабатқа бөгет жасайды. Сөйтіп, газ қабаттары арасында үйкеліс күші пайда болады. Бұл үйкеліс күші газ қабаттарына жанама бағытпен әсер етеді. Сондықтан да бұл құбылыс газ қабаттарының ішкі жылдамдықтарының теңесуі болғандықтан, ішкі үйкелісі немесе газдардың тұтқырлығы деп аталады.

Бұл құбылыстар – тасымалдау құбылыстары деп аталады.

7.2 Диффузия құбылысы

Диффузия құбылысы деп, тиісіп тұрған екі заттың (газ, сұйық немесе қатты денелер) атомдары немесе молекулаларының бір-біріне өтуін айтады.

Швейцр физигі Фик (1885 ж) тағайындаған заң бойынша, бірлік уақыт аралығында S ауданшадан өтетін заттың массасы

$$dM = -D \frac{d\rho}{dl} S \cdot dt, \quad (83)$$

Мұндағы минус таңбасы диффузияның газ тығыздығының кему жағына бағытталуын көрсетеді.

D – диффузия коэффициенті, газ күйінің тегіне байланысты. Ол $1 \text{ м}^2/\text{с}$ -пен өлшенеді.

Газдардың кинетикалық теориясына байланысты

$$D = \frac{1}{3} \bar{V} \cdot \bar{\lambda}, \quad (84)$$

мұнда

\bar{V} - молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы;
 $\bar{\lambda}$ - орташа еркі жүру жолы.

7.3 Жылу өткізгіштік құбылыс

Макроскопиялық тұрғыдан қарағанда жылу өткізгіштік құбылысы Q ақ қабаттан суығырақ қабатқа ауысуы болып табылады.

S ауданшасы арқылы dt уақыт ішінде өтетін жылу мөлшері

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dl} S \cdot dt, \quad (85)$$

Минус таңбасы жылу мөлшерінің азаюын көрсетеді.

χ - газдың тегіне тәуелді, жылу өткізгіштік коэффициенті деп аталады.

Жылу өткізгіштік коэффициенті ($Bm/m \cdot K$)-мен өлшенеді.

Газдардың молекула-кинетикалық теориясына байланысты бұл коэффициент:

$$\chi = \frac{1}{3} C_v \rho \bar{V} \cdot \bar{\lambda}$$

мұнда

$\bar{\lambda}$ - молекуланың орташа еркін жүру жолы;

\bar{V} - орташа жылдамдық;

ρ - газ молекулаларының тығыздығы;

C_v - тұрақты көлемдегі меншікті жылу сыйымдылық.

(85) формула газ молекулаларының жылу түрінде тасымалданатын энергиясын сипаттайды да, француз физигі Фурьенің жылу өткізгіштік заңы деп аталады.

Молекула-кинетикалық теория тұрғысынан жылу өткізгіштік энергияларының біраз бөлігін беруін айтады. Керісінше, суығырақ қабаттың молекулалары ыстығырақ қабатқа өтіп, осы қабаттағы молекулалардан біраз кинетикалық энергия алады. Осының нәтижесінде ыстық қабат суиды да, суық қабат қызады. Сөйтіп, Q жылу мөлшерінің тасымалдануы S ауданша арқылы молекулалардың ретсіз қозғалысының белгілі бір мөлшердегі кинетикалық энергиясының тасымалдануы болып табылады.

7.4 Газдардың ішкі үйкелісі (немесе тұтқырлық)

Газдардың немесе сұйықтардың ламинарлық ағысын қарастырғанда, әр түрлі қабаттардың жылдамдықтары түріше болады дедік.

Олай болса, қатар жатқан екі қабаттың арасындағы шекарада ішкі үйкеліс күші пайда болады.

Осы күштің шамасы Ньютон тағайындаған заңдылық бойынша анықталады:

$$F = -\eta \frac{dV}{dl} \cdot S, \quad (86)$$

Мұндағы минус таңбасы үйкеліс күшінің қабаттар жылдамдығына қарама-қарсы екенін көрсетеді.

мұнда

η - тұтқырлық немесе ішкі үйкеліс коэффициенті;

$\frac{dV}{dl}$ - жылдамдық градиенті;

S – күш түсірілген беттің шамасы.

Газдардың кинетикалық теориясына сүйене отырып, ішкі үйкеліс коэффициентін анықтайды

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{V} \bar{\lambda}, \quad (87)$$

мұнда

ρ - газ тығыздығы;

\bar{V} - молекулалардың орташа жылдамдығы;

$\bar{\lambda}$ - молекуланың орташа еркін жүру жолының ұзындығы.

Идеал газдар үшін диффузиялық, жылу өткізгіштік және ішкі үйкеліс коэффициенттері өзара байланыста болады:

$$\eta = \rho \cdot D$$

$$\chi = C_v \eta = C_v \rho D$$

Сонымен D , η , χ коэффициенттерінің өрнектеріне молекуланың $\bar{\lambda}$ ұзындығының мәні еніп отырады (4 кесте).

4 кесте - D , η , χ коэффициенттердің байланысы

Тамсымалдау құбылыстары	Тасымалданатын шама	Тасымалдау теңдеулері	Тасымалдау коэффициенттері
Диффузия	Масса	$dM = -D \frac{d\rho}{dl} S \cdot dt$	$D = \frac{1}{3} \bar{V} \cdot \bar{\lambda}$
Жылу өткізгіштік	Жылу (ішкі энергия)	$dQ = -\chi \frac{dT}{dl} S \cdot dt$	$\chi = \frac{1}{3} C_v \rho \bar{V} \cdot \bar{\lambda}$
Ішкі үйкеліс күші	Қозғалыс мөлшері (импульс)	$F = -\eta \frac{dV}{dl} \cdot S$ немесе $\kappa = -\eta \frac{du}{dl} \cdot S dt$	$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{V} \bar{\lambda}$

Бақылау сұрақтары:

1. Тасымалдау құбылысы ол не?
2. Диффузия құбылысы мен молекуланың орташа арифметикалық жылдамдығы қалай байланысты?
3. Газдардың ішкі үйкелісі минусы нені көрсетеді?
4. Жылу өткізгіштік минусы нені көрсетеді?
5. Тұтқырлық пен Ньютон заңымен қалай байланысты?

8 Тақырып Нақты газдар

8.1 Ван-дер-Ваальс теңдеуі

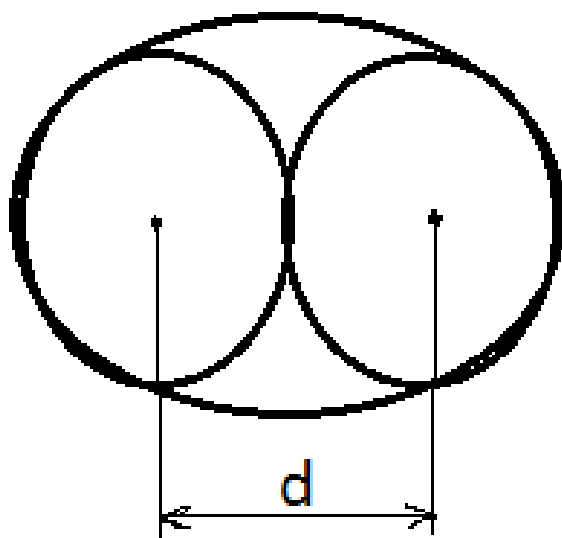
Идеал газдар моделі өте жоғарғы қысым мен өте төменгі температураларда орындалмайды. Олай болса, нақты газдарға Клапейрон-Менделеев теңдеуін қолдану үшін оған кейбір түзетулер енгізу қажет. Осы мәселені бірінші рет өте ыңғайлы түрде голланд физигі Ван-дер-Ваальс шешіп, Клапейрон-Менделеев теңдеуін басқа түрге келтірді.

Молекуланың көлемін есептеу

Молекулалар өздерінің көлемі болуының салдарынан газ тұрған ыдыстың ішінде еркін қозғала алмайды. Молекуланың еркін қозғалуына берілген көлем ыдыстың V геометриялық көлемінен бір b шамадай кіші болады. Молекулалардың өз көлеміне байланысты бұл шаманы тұрақты деп есептеуге болады. Сондықтан газ күйінің теңдеуіндегі V көлемінің орнына $(V-b)$ шамасын алу керек, сонда

$$p = (V - b) = RT, \quad (88)$$

Ван-дер-Ваальстің молекулалардың көлемін еске алғандағы түзетуі шамамен молекулалардың 4 еселенген өз көлеміне тең. Егер $p \rightarrow \infty$ болса, онда газ өз молекулаларының арасындағы бос кеңістік есебінен сығылады, сонда өте үлкен қысымда молекулалар біріне-бірі тығыз орналасады да, бұдан кейін газ болымсыз ғана сығылады. (88) формуладан қысым шексіз артқанда газдың көлемі b шамаға жуықтайтыны көрінеді. Мысалы, ыдыс ішінде екі молекула болса, онда бір молекуланың центрі екінші молекуланың центріне ара қашықтығы d -дан кем қашықтыққа жақындауы мүмкін емес (14 сурет).



14 сурет – Екі молекула ыдыс ішінде үлгісі

Молекулалардың өзара әсер күштері

Бұл күштер молекулалар бірінен-бірі белгілі бір аралықта тұрғанда өзара тартылатындығына байланысты. Молекулалар жақындағанда тартылу күштерінің орнына одан гөрі басымырақ тебілу күштері пайда болады. Молекулалардың тартылу – күштерінің әсерінен газдың көлемі Бойль-Мариотт заңы бойынша оған ыдыстың қабырғалары тарапынан түскен сыртқы p қысымнан гөрі үлкенірек қысым түскендегідей көбірек сығылады, яғни молекулалар аралығында қосымша қысым пайда болады да, оны газдың ішкі қысымы p' дейді. Сонда ішкі қысым

$$p' = \frac{a}{V^2}, \quad (89)$$

мұндағы

a – молекулалардың табиғатына байланысты болатын тұрақты шама.

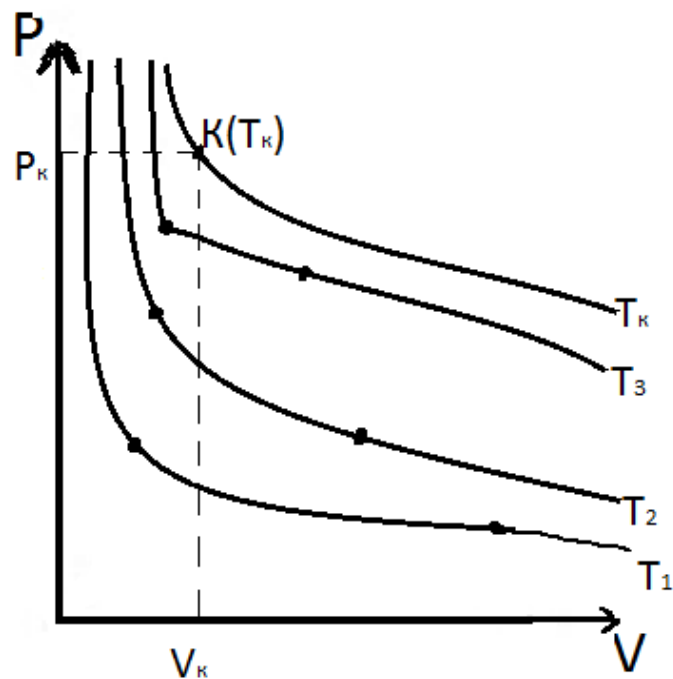
(88) теңдеудегі p қысымның орнына $(p + p')$ мәнін қойсақ

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT, \quad (90)$$

Осы өрнек нақты газдар күйінің теңдеуі немесе Ван-дер-Ваальс теңдеуі деп аталады. Ван-дер-Ваальс енгізген a және b түзетулері - әрбір газ үшін едәуір дәлдік дәрежедегі тұрақты шамалар. Әр түрлі газдар үшін бұл түзетулер әр түрлі болады. (90) теңдеудегі газ көлемінің $V \gg b$ және $p \gg p'$ болатынын ескерсек, онда Клапейрон-Менделеев теңдеуінің жуық формула екені бірден көрінеді, яғни p' қысымы өте аз болғанда ғана Ван-дер-Ваальс теңдеуі Клапейрон-Менделеев теңдеуіне сәйкес келеді. Тұрақты шама $[a] = \text{Дж} \cdot \text{м}^3 / \text{моль}^2$ -мен, ал тұрақты $[b]$ $\text{м}^3 / \text{моль}$ -мен өлшенеді.

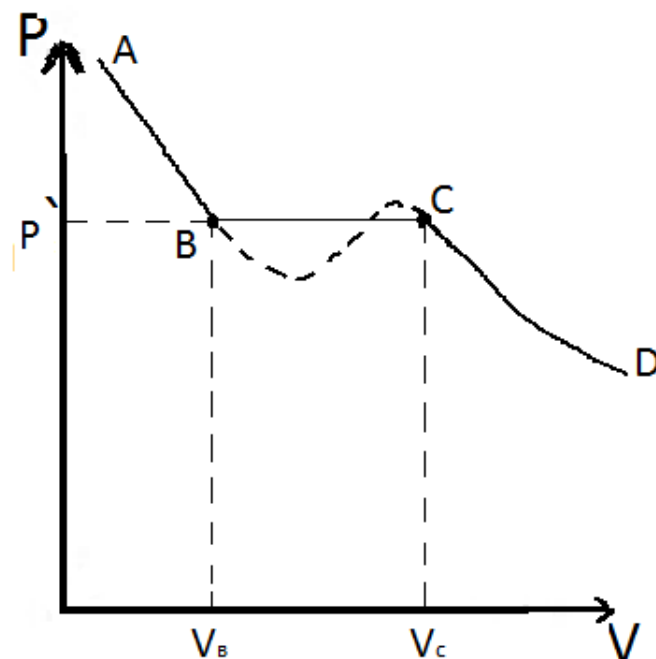
8.2 Ван-дер-Ваальс изотермалары

Ирланд ғылыми Т.Эндрюс 1866 жылы тәжірибе жүзінде изотермалық сығу арқылы көмірқышқыл газының молярлық көлемі мен қысымы арасындағы тәуелділікті зерттеді. Жоғары температурада көмірқышқыл газдың изотермалары идеал газдың изотермаларына ұқсайды. Ал төменгі температураларда изотермалардың сипаты тіпті басқаша. Осындай неғұрлым төмен температурадағы изотерма 15, 16 суреттерде кескінделген.



15 сурет – Ван-дер-Ваальс изотермалары

T_k (шектік) температурасына дейінгі изотермаларда ВС горизонталь түзу сызығы (15, 16 суреттер) бар екенін байқаймыз. Бұл тұрақты температура мен тұрақты қысымда өтетін процесс. Ол газдың молярлық көлемі V -дан V_c –ға дейін өзгеріп отырады. Молярлық көлемнің айырымы ($V_c - V_b$) нөлге жуықтағанда, газдың температурасы T_k -шектік температураға жетеді. Сөйтіп K шектік нүкте деп аталады. Олай болса, осы нүктеге сәйкес келетін p_k шектік қысым және V_k шектік көлем болады.



16 сурет –Изотермаларының қисықтары

Көмірқышқыл газ Бойль-Мариотт заңында айтылғандағыдан көбірек сығылатын болса да, оның қасиеттері идеал газдың қасиеттеріне ұқсайды. 63, б-суреттегі CD қисығы көмірқышқыл газдың қысымы біртіндеп өсетіндігін кескіндейді. Ал белгілі бір p' шамаға келгенде қысым өзгермейді, сөйтіп көмірқышқыл газдың сұйылу процесі басталады. Сонда сұйыққа айналу C нүктесінен басталып, B нүктесінде ол түгелдей сұйыққа айналады. Суреттегі BC қисығы көмірқышқыл газдың сұйық күйін сипаттайды. (16 сурет).

Сондықтан газ сұйық күйге айналатын p' қысым берілген температурадағы қаныққан будың серпімділігі деп аталады. Сөйтіп, BC аймағында берілген зат екі агрегаттық күйде немесе екі фазада, яғни әрі сұйық, әрі газ күйінде бола алады. Енді осы эксперименттік изотермаларды Ван-дер-Ваальстің теориялық изотермаларымен салыстырып, олардың табиғатын түсіндірейік. Ван-дер-Ваальс формуласынан қысымның көлемге p түрлі температурадағы тәуелділігін 15 суретке сәйкес кескіндейік, сонда бірнеше изотермалар шығады. Мұнда температура неғұрлым жоғары болса, изотермалар соғұрлым оң жақта және жоғары жатады, ал төменгі температурада қысым мен көлемнің белгілі бір аймағында изотермаларда өркештер пайда болады. [2]

Сонымен, Ван-дер-Ваальс изотермалары идеал газдың изотермаларына қарағанда газдың күйін дәлірек көрсетумен қатар, олар газдың сұйылу процесін де қамтиды. Ван-дер-Ваальс изотермаларындағы өркештер аймағы заттың газ тәрізді күйінен сұйық күйіне және керісінше өту процесіне жататындығын көрсетеді.

Температура жоғарылаған сайын Ван-дер-Ваальс изотермаларындағы өркештердің аймағы тарылады, яғни V_B мен V_C көлемдерінің айырымы азая береді. 16 суретте штрихталмаған аудан заттың газ тәрізді күйіне жатады. Тік бағытта штрихталған аудан заттың екі фазадағы күйін, газ және сұйық күйін көрсетеді. Ал көлденең бағытта штрихталған аудан заттың сұйық күйін кескіндейді. Ван-дер-Ваальс изотермаларының ішінде өркештері бар изотермаларды өркештері жоқ изотермалардан бөліп тұратын изотерма бар. Бұл изотерма шектік изотерма деп аталады. Шектік изотермада өркештердің орнында тек бүгілу нүктесі K ғана болады.

Заттардың газ тәрізді және сұйық күйлерін түсіндіргенде мынадай қорытындыларды айтқан жөн:

а) шектік T_K температурадан жоғары температураларда зат тек газ күйінде ғана болады. Газдың температурасы шектік температура жоғары болғанда оны қанша сықса да сұйық күйге айнала алмайды. Шектік температурадан төмен температураларда $T < T_K$ зат қысымға байланысты не газ тәрізді күйінде не сұйық күйінде немесе қатарынан екі фазада – сұйық және қаныққан бу түрінде бола алады.

б) қаныққан будың қысымы осы заттың шектік қысымынан артық бола алмайды ($p' < p_K$).

в) заттың сұйық күйіндегі көлемі сол мөлшерде алынған осы заттың шектік көлемінен артық болмайды ($V < V_K$). Шектік нүктеде (K) сұйық пен будың арасындағы айырмашылықтардың барлығы да жойылады.

Енді Ван-дер-Ваальс теңдеуін (90) қарастыра отырып, T_k шектік температура, p_k шектік қысым, V_k шектік көлем, a , b және универсал газ тұрақтысы R арасындағы тәуелділікті анықтауға болады.

Осы үш теңдеуді T_k , V_k , p_k белгісіздеріне қатысты шешетін болсақ:

$$V_k = 3b, \quad p_k = \frac{a}{27 \cdot b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27 \cdot Rb}. \quad (91)$$

Сонымен T_k , V_k , p_k шектік шамалар тікелей Ван-дер-Ваальстің a және b түзетулері арқылы өрнектелетіндігін байқаймыз. Ван-дер-Ваальс теңдеуі сияқты (91) өрнектер де нақты газдар үшін немесе газдың сұйыққа айналу процесін сипаттайтын жуықталған теңдеулер болып есептеледі.

Бақылау сұрақтары:

1. Ван-дер-Ваальс теңдеуі қандай газға пайдаланған?
2. Ван-дер-Ваальс теңдеуі.
3. Ван-дер-Ваальс изотермалары.

9 тақырып Фазалық ауысымдар

9.1 Бірінші және екінші текті фазалық ауысымдар

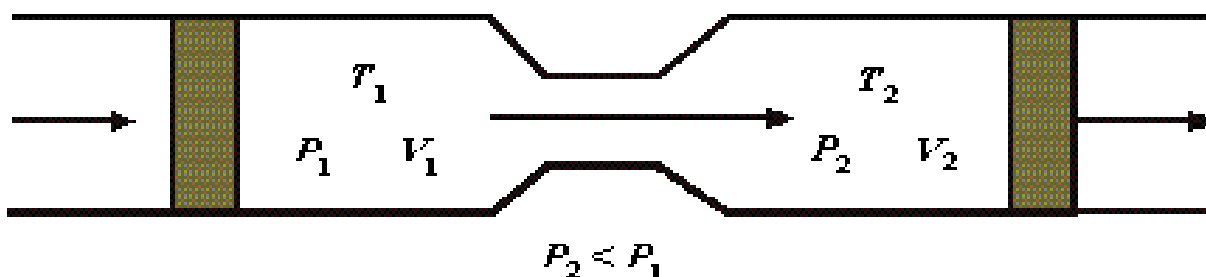
Нақты газдар үшін дифференциалдық және интегралдық эффекті Джоуль-Томсон эффектері болады. Техникада төмен температураларды алу үшін Джоуль-Томсонның интегралды эффекті қолданылады. Идеал газ үшін Джоуль-Томсон эффекті орын алмайды. Бірақ нақты газдар үшін қысымның өзгеруі кезінде оның қыздырылуы немесе суылтуы пайда болады.

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{2a/RT - b}{C_p}.$$

Егер $2a/RT - b > 0$, то $\Delta T / \Delta P > 0$, және газ суыиды.

Егер, керісінше, $2a/RT - b < 0$, $\Delta T / \Delta P < 0$, және газ қыздырылады. Сонымен қатар, $b = 0$, $a \neq 0$ кезінде газ әрқашанда суыиды; $a = 0$, $b \neq 0$ кезінде – әрқашанда қыздырылады (17 сурет).

Бірінші нәтиже түсінікті, ұлғаю кезінде газдың жылулық қозғалыстың кинетикалық энергиясы молекулалық тартылу күштеріне қарсы жасалатын жұмысына жұмсалады.



17 сурет – Джоуль-Томсон эффект

Екіншісі онша түсінікті емес. $T = \frac{2a}{Rb}$ кезінде температура өзгеруі нольге тең.

$T_i = \frac{2a}{Rb}$ температура Джоуль-Томсон дифференциалдық эффектісінің инверсия температурасы деп аталады. $T < T_i$ кезінде Джоуль-Томсон тәжірибесінде газ суыиды, $T > T_i$ кезінде газ қыздырылады. Газдардың көпшіліктері үшін T_i температурасы бөлме температурасынан жоғары жатады. Сондай газдар Джоуль-Томсон тәжірибесінде суылады. Сутегі мен гелий үшін T_i бөлме температурасынан төмен жатады. ($T_i = -80^\circ\text{C}$), және бұл газдар қызады.

Джоуль-Томсон интегралды эффектінің қарастыруына келсейік. Джоуль-Томсон интегралды эффектің (жүз атмосфераға жақын) үлкен қысымын ұстап

тұратын газды аз қысымы бар вентиль немесе жіңішке тесігі бар жері арқылы ағып өтуі үшін газ алынады. Бұл процесті газдың *дросселяциясы деп аталады*.

Осының нәтижесінде газ суиды. Ол бөлме температурасында көбінесе газдар, сонымен бірге ауамен көміртекті газдар үшін де орын табады. Бірақ сутегі үшін ол оның қыздыруына әкеп соғады. Ондай қыздырылу кейде катастрофаға айналады, өте қатты сығылған сутегі жармдалған трубалар арқылы ағып кетін кезде өзі-өзімен тұтанады. Сутегінің кенетте ұлғаю кезінде сутегі температурасы минус 80°C төмен кезінде суи алады.

Заттың басқа бола алатын тепе-теңдік күйлеріден физикалық қасиеттерімен ажыратылатын заттың термодинамикалық тепе-теңдік күйі *фаза* деп аталады. Заттың бір фазадан екінші фазаға ауысуы –заттың сапалық өзгерістерімен әрқашанда байланысты- фазалық ауысуы деп аталады.

Фазалық ауысудың екі түрін ажыратады. I текті фазалық ауысу(мысалы еру, қатаю және т.б.) фазалық жылу деп атлатындың жұтылуымен немесе шығарылуымен қоса жүреді. I текті фазалық ауысулыр энтропиямен көлемнің өзгеруімен, температураның тұрақтылығымен сипатаалады. Жылу жұтылусыз және шығарусыз және көлемі өзгеріссіз фазалық ауысулыр II текті фазалық ауысулыр деп аталады. Бұл ауысулар көлемнің және энтропияның тұрақтылығымен, бірақ жылусыйымдылықтың секірмелі өзгеруімен сипатталады.

9.2 Кристалдық күй

Газ және қатты дене аралығындағы агрегат күйдегі зат сұйық деп аталады. Сондықтан да сұйықтар газдар мен қатты денелер тәрізді, оларға тән қасиеттерімен сипатталады.

Металдың сұйық күйден қатты күйге өтуін кристалдану деп атайды. Ол аз шамадағы Гиббс энергиясымен G^* (еркін энергия) неғұрлым термодинамикалық тұрақты күйге алмасу салдарынан жүреді.

Сұйық және қатты күйдегі t_{11} температурасы кезінде металдың G^* шамасы 18 суретте келтірілген. Берілген зат үшін бір уақыт аралығында қатты және сұйық фаза бола алатын кезде t_{11} температурасы кристалданудың (немесе балқудың) тепе-теңдік температурасына сәйкес келеді. G шамасы төмен болғанда, t_{11} температурасынан жоғары сұйық металл неғұрлым тұрақты, ал осы температурадан төмен қатты металл тұрақты болады.

Егер ΔG айырымы бар болса, онда кристалдану процесі үдей түседі (18 сурет). Осыдан кристалдану процесі тек металл t_{11} -ден төмен суынған кезде ғана жүруі мүмкін. Кристалдану жүретін t_{11} температурасы және t_k температурасы аралығындағы Δt айырымы қайта суыну дәрежесі деп аталады, ол мынаған тең:

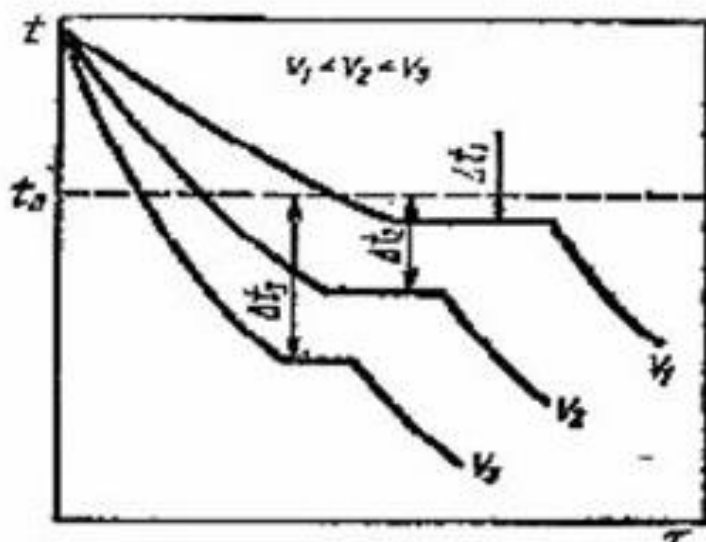
$$\Delta t = t_{11} - t_k.$$

19 суретте әр түрлі ϑ жылдамдықпен суыну кезінде таза металдардың кристалдану процесін сипаттайтын, термиялық талдау әдісімен тұрғызылған суыну қисықтары келтірілген. Баяу суынған кезде суыну дәрежесі де төмен және

кристалдану тепе-теңдікке жақын температурада (Δt қисығы) жүреді. Суыну қисық сызықтарында кристалдану температураларында горизонтал аудандар (температураның түсуіндегі тежелулер) белгіленеді, олардың түзілуі кристалданудың жасырын жылуының бөлініп шығуымен түсіндіріледі.



18 сурет - Қатты G_K және сұйық G_M күйдегі металда температураға тәуелді Гиббс энергиясының өзгеруі



19 сурет - Δt суыну дәрежесі әр түрлі болғанда металл кристалдануының суыну қисығы:

t_{II} – кристалданудың тепе-теңдік температурасы ($G_c=G_k$).

Суыну жылдамдығының өсуімен суыну дәрежесі де өседі (\dot{A}_2, \dot{A}_3), кристалдану процесі t_{II} температурасынан біршама төменде жататын температурада жүреді. Δt суыну дәрежесі металдың табиғаты мен тазалығына тәуелді; әдетте, ол 10-30⁰С-ден аспайды. Сұйық металл неғұрлым таза болса, оның суынуы да соғұрлым тез жүреді. Суыну жылдамдығы өте жоғары болса, «аморфты» металл алуға болады.

Алғаш Д. К. Чернов кристалдану процесінің кристалл дәнекшелерінен (кристалдану орталықтарынан) басталып, олардың өсуімен жалғасатынын бекітті.

Қалыптасқан кристалдар еркін өсуі кезінде, геометриялық салыстырмалы дұрыс пішінді болады. Өсіп келе жатқан кристалдар қақтығысуы кезінде олардың дұрыс пішіндері бұзылады. Осының нәтижесінде бастапқыда геометриялық дұрыс пішінді өсіп келе жатқан кристалдар қатқаннан кейін дұрыс емес сыртқы пішінді болып шығады, оларды кристаллиттер немесе дәнекшелер деп аталады.

Дәнекшелер центрлерінің өздігінен түзілуі.

Кристалдану процесінде жүретін құбылыс күрделі және сан түрлі. Сұйық металда атомдар газ тәрізді күйдегідей ретсіз және олардың орналасуында қатты (кристалл) денені сипаттайтын тәртіп жоқ. Сұйық металда тек жақын тәртіп қана сақталады (қатты денеде алыс тәртіп те болады, атом аралық қашықтық пен бұрыштық қатынас тұрақтылығы алыс тәртіпте алыс ара қашықтықта сақталады). Яғни, бөлек макроқөлемдерде қатты күйге сәйкес уақыт бойынша өзгеретін атомдардың орын ауысжытыруы бар. Атомдардың орналасуы қатты металл атомдарының орналасуына ұқсас орналасқан атомдары бар t_{II} температурасынан төменгі микроқөлемдер кристалдану центрлеріне (дәнекшелер) ауысуы мүмкін.

Кристалдану процесінде әр түрлі өлшемді дәнекшелер түзіледі, бірақ, олардың барлығы бірдей өсуге қабілетті болмайды. Бұл кристалдану кезінде сұйық металдың қатты күйге ауысуы салдарынан Гиббс энергиясы G бір жағынан кішірейеді ал екінші жағынан, беттік тарту энергиясы немесе беттік энергиямен байланысты беттік бөлімнің түзілуіне байланысты өседі.

Өлшемі R_k -дан аз өлшемді дәнекше түзілген кезде жүйенің еркін энергиясы өседі, себебі, Гиббс энергиясының G өсуі, жаңа қабаттың түзілуі салдарынан қатты металл дәнекшелерінің түзілуі нәтижесінде оның азаюын төмендетеді.

Осыдан R_k -дан аз өлшемдегі дәнекше өсе алмайды және сұйық металда ериді. Егер R_k -дан үлкен өлшемді дәнекше түзілсе, онда ол тұрақты және өсуге қабілетті, себебі, оның өлшемдерінің өсуі кезінде жүйедегі Гиббс энергиясы төмендейді.

Берілген температуралық жағдайларда өсуге қабілетті өлшемі ең кіші R_k дәнекше, дәнекшенің критикалық нүктесі деп аталады.

Суыну дәрежесінің өсуімен критикалық дәнекше өлшемі Δt кішірейеді осыдан, өсуге қабілетті дәнекшелер саны өседі.

Дәнекше центрлерінің өсуі.

Дәнекшенің өсуі атомдардың суытылған қорытпадан кристалдарға ауысуы нәтижесінде жүреді.

Кристалдардың өсуінің екі тәртіптегі элементар процесін айырады:

1) кристалдың тегіс қырларында қос шамалы дәнекшенің түзілуі (яғни, бір атом қалыңдығындай дәнекше); қос шамалы өлшемі критикалықтан жоғары болуы керек;

2) суыған сұйықтан келетін атомдар есебінен екі шамалы дәнекше өсуі. Тегіс қырда қос шамалы дәнекше түзілгеннен кейін, сұйық күйден ауысқан атомдарға бекітілуге ыңғайлы учаскелер пайда болғандықтан жаңа қабаттың өсуі салыстырмалы түрде оңай жүреді. Атомдар қабаты барлық қабатты алып жатқанда, келесі қабаттың түзілуі үшін жаңа қос шамалы критикалық өлшемді дәнекше қажет. Кристалдардың өсу жылдамдығы қос шамалы дәнекшенің түзілу ықтималдығымен анықталады. Неғұрлым, суыну жылдамдығы жоғары болса, соғұрлым, критикалық дәнекше өлшемі кішірек және оның түзілуі оңайырақ болады.

Кристалдардың қырлары өте тегіс жазықтықтардан тұрмағандықтан, өсуі жеңілдейді. Мұндай жағдайда кристалдың өсуі қос шамалы дәнекшенің түзілуінсіз де жүре алады.

Кристалдану центрлері саны және кристалдардың өсу жылдамдығы.

Кристалдану процесінің жылдамдығы және қатқаннан кейін металдың қалыптасуы бірлік уақытындағы бірлік көлемінде түзілген дәнекшелер (кристалдану орталықтары) саны мен дәнекшелердің өсу жылдамдығынан тәуелді, яғни, бірлік уақытындағы өсіп келе жатқан кристалдың түзулік өлшемдерінің ұлғаю жылдамдығынан қатысты (мм/с).

Кристалданудың тепе-теңдік температурасы кезінде (t_{11}) дәнекшелер саны (д.с.) мен олардың өсу жылдамдығы (ө.ж.) нөлге тең, сондықтан кристалдану процесі жүрмейді. Суыну дәрежесі өскен кезде олар өседі, белгілі суыну дәрежесі ең жоғары шамаға жеткенде төмен түседі.

Суыну дәрежесі Δt өсуімен сұйық және қатты металдардың Гиббс энергиясы айырымы өседі де кристалдану жылдамдығы артады. Бірақ, дәнекшелердің түзілуі және өсуі үшін сұйық металдағы атомдардың диффузиялық орын алмастырғаны керек. Сондықтан суынудың жоғары дәрежесінде (төменгі температура) диффузия жылдамдығының төмендеуі салдарынан дәнекшелердің түзілуі мен олардың өсуі қиындайды. Өте төмен температурада (суыну дәрежесі жоғары) атомдардың диффузиялық қозғалысының төмендігі соншалық, Гиббс энергиясының ΔG айырымының үлкен болуы кристалдық дәнекшелер түзіліп, олардың өсуі үшін жеткіліксіз болады. Мұндай жағдайда қатаю аморфтық күйге әкеледі.

Дәнекше шамасы.

Кристалдану центрлері (дәнекшелер) неғұрлым көп және олардың өсу жылдамдығы төмен болса, соғұрлым, бір дәнекшеден (металл дәнекшесі) өсіп шығатын кристалл кішірек болады.

Дәнекше шамасы 0,4-0,001 мм аралығында алмасып тұруы мүмкін.

Суыну дәрежесі аса үлкен емес шамада болса (суыну жылдамдығы кіші), дәнекшелер саны аз және өсу жылдамдығы үлкен болады. Мұндай жағдайда дәнекшелер ірі болып қалыптасады. Суыну дәрежесінің өсуімен дәнекшелер саны олардың өсу жылдамдығынан артады, қатайған металдағы дәнекше өлшемдері кішірейеді.

Дәнекше өлшемі неғұрлым үлкен болса, металдың пластиналылығы мен беріктігі соғұрлым төмен болады.

Дәнекшелердің гетерогендік түзілуі.

Сұйық металда дәнекшелердің түзілуін механизмдерін суреттеуіне байланысты өздігінен туындайтын және кенет туындайтын деп атайды.

Сұйық металда кристалдардың өздігінен туындайтын дәнекшелері қиынырақ жүреді. Көбінесе, қорытпаның ішінде болатын қатты бөлшектер дәнекшелердің түзілуінің көзі болып табылады. Егер қоспалардың кристалдық торлары құрылуы бойынша қатайған металға жақынырақ (изоморфты қоспалар) болса, онда олар дайын кристалдану центрлерінің ролін атқарады. Қоспа неғұрлым көп болса, кристалдану центрлері соғұрлым үлкен, дәнекше ұсақтау болып шығады. Дәнекшелердің осындай түзілуін гетерогендік деп атайды.

Модифицирлеу.

Ұсақ дәнекшелер алу үшін қоспаларды қолдану модифицирлеу деп аталады. Модифицирлеу кезінде балқытылған металға (қорытпаға) біраз мөлшерде арнайы заттар (модификаторлар) қосады, олар химиялық құрамның өзгеруіне әкелмей, кристалдану кезінде дәнекшелердің ұсақталуын тудырып, механикалық қасиеттердің артуына әсерін тигізеді. Мысалы, магний қорытпаларын модифицирлеу кезінде дәнекше өлшемі 0,2-0,3-тен 0,01-0,02 мм-ге дейін кішірейеді. Құйылмалар мен фасондық құймалар құю кезінде модифицирлеу бірінші кезекте кристалданатын қиын балқитын қоспалар түзетін (карбидтер, нитридтер, оксидтер) қоспалар қосады. Ұсақ бөлшектер түрінде бөлініп шыға отырып, осы қоспалар кристалдардың дәнекше қызметін атқара алады.

Металдардың қатаюы процесінде түзілетін кристалдар суыну жылдамдығы, ондағы қоспалар мөлшері мен сипатына қарай әр түрлі пішінді болуы мүмкін.

Көбінесе, кристалдану процесінде ағашқа ұқсас дендриттер деп аталатын кристалдар түзіледі. Кристалдар түзілген кезде алдымен ұзын таяқша тәріздес бірінші тәртіптегі осьтер I (дендриттің басты осьтері) қалыптасады.

Металл қатты қызып кетсе, оның тез суынуынан, құю температурасының жоғары болуы және қалыптың баяу толтырылуы салдарынан созылған дендриттер зонасы толығымен оның көлемін алып кетуі мүмкін.

Құю төмен температурада жүргізіліп, баяу суытылса, ірі құймалардың орталық қабаттарында кристалдар дәнекшелерінің түзілуіне жағдай жасалады. Осының салдарынан құйманың ішкі бөлігінде бірдей осьті әр түрлі бағдарланған дендриттердің құрылымдық 3 зонасының түзілуіне әкеледі. Мұндай кристалдардың өлшемдері сұйық металдың қызу дәрежесіне, суыну жылдамдығына, химиялық құрамына және бөгде қоспалардың қатысуына байланысты болады.

Сұйық металл құрамында болатын қиын балқитын бөлшектер ұсақ тең осьті кристалдар зонасының ұлғаюына әкеледі. Сұйық металдың салыстырмалы көлемі қатты металмен салыстырғанда үлкен, сондықтан құйылманың ең соңғы қатаю процесі жүретін бөлігінде шөгу раковиналары түзіледі. Шөгу раковиналары металдың неғұрлым залалданған бөлігімен қоршалған, ол қатқаннан кейін макро және микрокеуектер мен көпіршіктер түзеді.

Бақылау сұрақтары:

1. Фаза дегеніміз не?
2. Фазалық ауысу дегеніміз не?
3. Бірінші текті фазалық ауысу.
4. Екінші текті фазалық ауысу.
5. Үштік нүкте дегеніміз не?
6. Күй диаграммасы нені кескіндейді.
7. Нақты газдар мен идеал газдар арасындағы айырмашылықтар.
8. Молекулалық әрекеттік радиусы дегеніміз не?
9. Молекуланың еркін жолының ұзындығы.
10. Ван- дер- Валльс теңдеуіндегі a и b константтар нені анықтайды?
11. Инверсия температурасы дегеніміз не?
12. Қандай процесті газдың дросселяциясы деп атайды?

Есептерді шешуге арналған әдістемелік нұсқау

1 есеп. Цельсий шкаласы бойынша сау адам денесінің температурасы шамамен 36° –қа тең. Ал Фаренгейт шкаласы бойынша сау адам денесінің температурасы неге тең?

Берілгені:

$$\frac{t_1 = 36}{t_2 F = ?}$$

Шешуі:

$$\frac{t_1 C}{5} = \frac{(t_2 - 32) F}{9} \quad \text{осыдан} \quad t_2 = \frac{9t_1 + 160}{5} = 96,8 F$$

Жауабы: $t_2 = 96,8 F$

2 есеп. Бастапқы көлемі $0,40 \text{ м}^3$ газ изотермиялық жолмен сығылды. Соңғы көлемі $0,20 \text{ м}^3$ болғанда, оның қысымы $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ болды. Газдың бастапқы қысымын табыңдар.

Берілгені.

$$V_0 = 0,40 \text{ м}^3$$

$$V = 0,20 \text{ м}^3$$

$$P_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P_0 = ?$$

Шешуі: Бойль-Мариотт заңы бойынша $P_0 V_0 = P_1 V_1$, осыдан

$$P_0 = \frac{P_1 V_1}{V_0} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Жауабы: $P_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

3 есеп. Көмір қышқыл газдың 30°C температурадағы көлемі $6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Қысымы тұрақты болғанда, осы газдың 0°C температурадағы көлемі қандай болады?

Берілгені:

$$V_1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$T_0 = 273 \text{ К}$$

$$T_1 = 273 + 30 = 303 \text{ К}$$

$$P = \text{const}$$

$$V_0 = ?$$

Шешуі: $P = \text{const}$ болғандықтан, изобаралық процесс орындалады. Гей-Люссак

заңы бойынша $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$, бұдан $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$

Жауабы: $V_0 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$.

4 есеп. Газдың көлемін тұрақты етіп алып, оны 474 К температураға дейін қыздырғанда, қысымы екі есе артты. Газдың бастапқы температурасын табу керек.

Берілгені:

$V = \text{const}$

$T = 474 \text{ К}$

$P_2 = 2 P_1$

$T_1 = ?$

Шешуі: Шарль заңы бойынша: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$, осыдан

$$T_1 = \frac{P_1 T_2}{P_2} = T_2 \cdot \frac{P_1}{2P_1} = \frac{T_2}{2} = 237 \text{ К}$$

Жауабы: $T_1 = 273 \text{ К}$

5 есеп. Газдың қысымы $0,98 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ және 15 С температурадағы көлемі 2 л-ге тең. Газдың көлемі 4 л-ге дейін, ал температурасы 20 С-қа дейін артқан, оның қысымы қандай болады?

Берілгені:

$P_1 = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

$T_1 = 273 + 15 = 288 \text{ К}$

$V_1 = 2 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

$T_2 = 273 + 20 = 293 \text{ К}$

$V_2 = 4 \text{ л} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

$P_2 = ?$

Шешуі: Осы жағдайда көлем де, қысым да, температура да өзгеріп отыр., сондықтан бұл есепті шығару үшін газ күйінің біріккен теңдеуін пайдаланамыз. Ол теңдеу бойынша

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \text{ осыдан } P = \frac{P_1 V_1 T_2}{V_2 T_1} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$$

Жауабы: $P = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

6 есеп. Көлемі тұрақты баллондағы газдың температурасы 7С, ал қысымы 0,15 МПа . Осы баллонды қыздырып, температурасын 100С-қа жеткізгенде, қысымы 0,20 МПа-ға жетті. Қысымның термиялық коэффициентін табыңдар.

Берілгені:

$$t_1=7 \text{ C}$$

$$P_1= 0.15 \text{ МПа}$$

$$t_2= 100 \text{ C}$$

$$P_2=0.20 \text{ МПа}$$

α -?

Шешуі: Бұл изохоралық процесс.

Шарль заңы бойынша

$$P_1=P_0(1+ \alpha t_1),$$

$$P_2=P_0(1+ \alpha t_2)$$

Мұндағы P_0 - 0 С-тағы газ қысымы. Осы екі теңдеуден:

$$\gamma = \frac{P_2 - P_1}{P_1 t_2 - P_2 t_1} = 36 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Жауабы: $\gamma = 36 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

7 есеп. О₂ оттегінің бір молекуласының массасын тап. 1-тәсілі

Берілгені:

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

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

m_0 -?

Шешуі:

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$m_0 = \frac{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

2-ші тәсілі

$$m_0 = 32 \text{ м.а.б.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 32 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

Жауабы: $m_0 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$

8 есеп. Судың салыстырмалы молекулалық массасы 18 м.а.б.екендігі белгілі, оны килограммен көрсет.

Шешуі:

$$m_0 = 18 \text{ м.а.б.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 18 = 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

Жауабы: $\gamma = 36 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

9 есеп. Қалыпты жағдайда көлемі 60 м^3 бөлмеде қанша ауа молекулалары бар? Ауаның мольдік массасы $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, ауаның тығыздығы $\rho_0 = 1,29$ кг/м³

Берілгені:

$M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹ $V = 60\text{ м}^3$ $\rho_0 = 1,29$ кг/м ³	$N = ?$
---	---------

Шешуі:

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

ондағы m - бөлмедегі ауа массасы; m_0 - бір молекуланың массасы.

$$m = \rho_0 \cdot V_0; \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$\text{сонда } N = \rho_0 \cdot V_0 \cdot \frac{N_A}{M}$$

$$N = \frac{1,29 \text{ кг/м}^3 \cdot 60 \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 1,6 \cdot 10^{27}$$

Жауабы: $N = 1,6 \cdot 10^{27}$

10 есеп. Қалыпты жағдайда 1 кг SO₂ күкіртті газда қанша молекула бар?

Берілгені:

$M = 64 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹ $m = 1$ кг	$N = ?$
---	---------

Шешуі:

$$N = \frac{m}{m_0}, \text{ бірақ } m_0 = \frac{M}{N_A} \text{ олай болса } N = m \cdot \frac{N_A}{M}$$

$$N = \frac{1 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 9,4 \cdot 10^{24}$$

Жауабы: $N = 9,4 \cdot 10^{24}$

11 есеп. Қалыпты жағдайда аргонның молекулалары $6,35 \cdot 10^{-8}$ м еркін қозғала отырып, секундына $6 \cdot 10^9$ с⁻¹ рет соқтығысты. Аргонның молекулаларының орташа жылдамдығын есепте.

Берілгені:

$v = 6 \cdot 10^9$ с ⁻¹ $\lambda = 6,35 \cdot 10^{-8}$ м.	$v = ?$
---	---------

Шешуі:

$$v = \lambda \cdot \nu$$

$$v = 6,35 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot 6 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} = 381 \text{ м/с}$$

Жауабы: $v = 381 \text{ м/с}$

12 есеп. Қалыпты жағдайда ауаның бір молекуласының бірқалыпты қозғалыс кезіндегі орташа кинетикалық энергиясын тап.

$$T_0 = 273\text{К}$$

$$P_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

$$E_k - ?$$

Шешуі:

Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі:

$$P_0 = \frac{2}{3} E_k \cdot n_0, \text{ осыдан } E_k = \frac{3 \cdot P_0}{2 \cdot n_0}$$

$$E_k = \frac{3 \cdot 1 \cdot 10^5}{2 \cdot 2,7 \cdot 10^{25}} = 5,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Жауабы: $E_k = 5,6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$

13 есеп. 20°C температурадағы су буының тығыздығы $17,3 \text{ кг/м}^3$ болса қысымын анықта.

$$T = 293 \text{ К}$$

$$\rho = 17,3 \text{ кг/м}^3$$

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

$$P - ?$$

Шешуі:

$$PV = \frac{m}{M} RT \text{ осыдан } P = \frac{\rho RT}{M}$$

$$P = \frac{17,3 \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 2,34 \text{ кПа}$$

Жауабы: $P = 2,34 \text{ кПа}$

14 есеп. Көлемі 10 л баллонда 1 МПа қысымда 300 К температурада гелий берілген. Баллоннан массасы 10 г гелий шығындалған соң, баллондағы температура 290 К -ге дейін төмен түсті. Баллон ішіндегі қалған гелийдің қысымын анықтау керек.

Шешуі: Клапейрон-Менделеев теңдеуін екі рет бастапқы және соңғы газ күйі үшін қолдана отырып, мыналарды аламыз:

$$\text{Бастапқы күйі үшін } p_1 V = \left(\frac{m_1}{M} \right) RT_1 \quad (92)$$

$$\text{ал соңғы күй үшін - } p_2 V = \left(\frac{m_2}{M} \right) RT_2, \quad (93)$$

мұндағы m_1, m_2 -бастапқы және соңғы күйлері үшін гелий массалары.
 (92) және(93) теңдеулерден m_1 және m_2 гелий массаларын шығарамыз:

$$m_1 = Mp_1V / (RT_1) \quad (94)$$

$$m_2 = Mp_2V / (RT_2) \quad (95)$$

(94) формуладан (95) формуланы алып, мынау шығады

$$m = m_1 - m_2 = \frac{Mp_1V}{RT_1} - \frac{Mp_2V}{RT_2}, \text{ осыдан ізделіп тұрған қысым табылады:}$$

$$p_2 = \frac{RT_2}{MV} \left(\frac{Mp_1V}{RT_1} - m \right) = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m}{M} \frac{RT_2}{V}, \text{ есептеген соң}$$

$$p_2 = 3,64 \cdot 10^5 \text{ Па} = 364 \text{ кПа} .$$

Жауабы: $P_2 = 364 \text{ кПа}$

15 есеп. Массасы 25 г оттегі және 75 г азот қоспасының молярлық массасын табу керек.

Шешуі:

Қоспаның молярлық массасы қоспаның зат мөлшеріне массасының қатынасымен анықталады, яғни

$$M_{cm} = m_{cm} / \nu_{cm} \quad (96)$$

Қоспа массасы қоспа компоненттер массасыны тең

$$m_{cm} = m_1 + m_2$$

Қоспаның зат мөлшері компоненттер зат мөлшерінің қосындысына тең:

$$\nu_{cm} = \nu_1 + \nu_2 = m_1 / M_1 + m_2 / M_2$$

(96) формулаға m_{cm} және ν_{cm} қоя отырып, аламыз

$$M_{cm} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 / M_1 + m_2 / M_2},$$

есептеген соң

$$M_{cm} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль аламыз.}$$

Жауабы: $M_{cm} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}$

16 есеп. Массасы 0,2 кг сутегінің тұрақты қысымда 0°C ден 100°C температураға дейін қыздыру кезінде алынған жылу мөлшерін табу керек. Сонымен бірге газдың ішкі энергия өзгерісін және жасалған жұмысын табу керек.

Шешуі: Изобаралық қыздыру процесс кезінде алынған жылу мөлшері

$$Q = mc_p \Delta T \quad (97)$$

формуламен анықталады, мұндағы m -қыздырылған газ массасы, c_p -оның тұрақты қысымдағы меншікті жылу сыйымдылығы, ΔT -газ температурасының өзгерісі.

$$c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M} \Delta T, \quad (98)$$

екені белгілі. c_p -мәнді (98) формулаға қойып мынаны аламыз

$$Q = m \frac{i+2}{2} \frac{R}{M} \Delta T.$$

Есептеулерді жасаған соң табамыз $Q = 291 \text{ кДж}$.

Ішкі энергия мына формуламен өрнектеледі:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT, \text{ олай болса ішкі энергия өзгерісі } \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

Осы формулаға берілген сандарды қойған соң мынаны аламыз $\Delta U = 208 \text{ кДж}$.

Газ ұлғаю жұмысын термодинамиканың бірінші бастамасынан табуға болады

$$Q = \Delta U + A, \text{ осыдан } A = Q - \Delta U.$$

Q және ΔU қоя отырып $A = 83 \text{ кДж}$ табамыз.

Жауабы: $Q = 291 \text{ кДж}$ $\Delta U = 208 \text{ кДж}$ $A = 83 \text{ кДж}$

17 есеп. Молекуланың кинетикалық энергиясы $7,87 \cdot 10^{-21}$ Дж тең. Идеал газдың температурасын анықта.

$$E_k = 7,87 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

T-?

Шешуі:

$$E_k = \frac{3}{2}kT$$

мұндағы

k – Больцман тұрақтысы, осыдан

$$T = \frac{2E_k}{3k} T = 380 \text{ К}$$

Жауабы: $T = 380 \text{ К}$

18. Температурасын 200К-ге дейін төмендетсе 4 моль бір атомды идеал газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді?

$$\nu = 4 \text{ моль}$$

$$\Delta T = 200 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

$$\cdot 200 \text{ К} = 9,972 \text{ Дж};$$

ΔU -?

Шешуі:

Бір атомды идеал газдың ішкі энергиясының өзгеруі:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T$$

$$\Delta U = 1,5 \cdot 4 \text{ моль} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

Жауабы: $\Delta U = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$

19 есеп. Температурасы 273К мен $8 \cdot 10^5$ Па қысымда 1 килограмм оттегі қандай көлем алады? Оттегінің мольдік массасы $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль тең.

Берілгені:

$$T_1 = 273 \text{ К}$$

$$P_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

V_1 -?

Шешуі:

Менделеев-Клайпейрон теңдеуінен:

$$V_1 : V_2 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{P_1 \cdot M}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 273 \text{ К}}{8 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{моль}} = 0,6087 \text{ м}^3$$

Жауабы: $V_1 = 0,6087 \text{ м}^3$

20 есеп. 240 г O_2 оттегіні 100К-ге дейін суытқанда оның ішкі энергиясы қалай өзгереді?

Берілгені:

$$m = 0,24 \text{ кг}$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

ΔU -?

Шешуі:

$$\Delta U = \frac{5}{2} = \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{0,24 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{моль}} = 15,58 \text{ кДж}$$

Газдың ішкі энергиясы 15,58 кДж-ге азайды.

Жауабы: $\Delta U = 15,58 \text{ кДж}$

21 есеп. Адиабаталық процесс кезінде газ $5 \cdot 10^6$ Дж жұмыс істеді. Ішкі энергиясы қалай өзгерді? Газға не болды? (қызды ма әлде суыды ма?)

Берілгені:

$$A = 5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

бойынша:

$$Q = 0$$

ΔU -?

Шешуі:

Адиабаталық процестегі термодинамиканың I-ші заңы

$$0 = \Delta U + A \text{ осыдан, } \Delta U = -A; \quad \Delta U = -5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Газдың ішкі энергиясы $-5 \cdot 10^6$ Дж азаяды, газ суынады.

Жауабы: $\Delta U = -5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$

22 есеп. Массасы 10 т, 28,8 км/сағ жылдамдықпен автомобиль қозғалды және тежеп тоқтады. Егер тежеген кезде барлық кинетикалық энергиясы ішкі энергияға айналса, онда қанша жылу бөлінгені?

Берілгені:

$m = 10^4 \text{ кг}$	$v = 6 \text{ м/с}$
-----------------------	---------------------

ΔU -? Q -?

Шешуі:

Автомобиль тежеген кезде оның барлық кинетикалық энергиясы ішкі энергияға айналады, о.б. $E_k = \Delta U$

$$\Delta U = E_k = \frac{m \cdot V^2}{2} = 10 \text{ кДж}$$

$$\Delta U = E_k = \frac{10^4 \cdot 64^2 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 320 \text{ кДж}$$

Жауабы: $\Delta U = 10 \text{ кДж}$

23 есеп. Газ изобаралық ұлғаю кезінде көлемін 2 м^3 үлкейте отырып, $P = 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ жұмыс істеді. Ұлғаю процесі кезінде газға $4 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ жылу берілді. Газдың ішкі энергиясын есептеп, оның суынғанын не қызғанын анықтау керек.

Берілгені:

$P = 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$	$Q = 4 \cdot 10^7 \text{ Дж}$
$\Delta V = 2 \text{ м}^3$	ΔU -?

Шешуі:

$$\Delta U = Q - A = Q - P \Delta V;$$

$$\Delta U = 4 \cdot 10^7 \text{ Дж} - 6 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 2 \text{ м}^3 = 3,88 \cdot 10^7 \text{ Дж}.$$

Газдың ішкі энергиясы $3,88 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ ұлғайып, қызады.

Жауабы: $\Delta U = 3,88 \cdot 10^7 \text{ Дж}$

24 есеп. 10^5 Па қысымда екі атомды газдың көлемі изобаралық ұлғайып 5 м^3 болды. Осы газға берілген жылу мөлшерін, ішкі энергиясының өзгеруін, жұмысты анықта.

Берілгені:

$P = 10^5 \text{ Па}$	ΔU -?
$\Delta V = 5 \text{ м}^3$	A -?

Q -?

Шешуі:

$$A = P \Delta V \quad \text{сонда} \quad A = 5 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Екі атомды газдың ішкі энергиясы:

$$\Delta U = \frac{5}{2} A = 2,5 \cdot 5 \cdot 10^5 = 12,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$Q = \Delta U + A = 12,5 \cdot 10^5 + 5 \cdot 10^5 = 17,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

Жауабы: $Q = 5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ $\Delta U = 12,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ $A = 17,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$

25 есеп. Жылытқыш пен суытқыштың температурасы 1500 К және 300 К тең. Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициентін анықта?

Берілгені:

$$T_1 = 1500 \text{ К}$$

$$T_2 = 300 \text{ К}$$

$\eta = ?$

Шешуі:

$$T_1 - T_2 = 1500 \text{ К} - 300 \text{ К}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = \frac{1500 \text{ К} - 300 \text{ К}}{1500 \text{ К}} = 0,8, \quad \eta = 0,8\%$$

Жауабы: $\eta = 0,8$

26 есеп. Идеал газ Карно циклі бойынша жұмыс жасады. Қыздырғыштың температурасы суытқыштың температурасынан төрт есе артық. Циклдің термиялық пайдалы әсер коэффициентін анықтау керек.

Шешуі:

Карно циклінің термиялық пайдалы әсер коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

мұндағы

T_1 -қыздырғыштың температурасы,

T_2 -суытқыштың температурасы.

Есептің шарты бойынша мынаны жазуға болады: $T_1 = 4T_2$, осыдан циклдің термиялық коэффициенті тең болады

$$\eta = \frac{4T_2 - T_2}{4T_2} = \frac{3T_2}{4T_2} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ немесе } 75\%.$$

Жауабы: $\eta = 0,75$

27 есеп. Сутегінің 2 г энтропиясы қалай өзгереді, егер ол 40 л көлемді 270 К, алған болса, егер қысымды тұрақты температурада екі есе арттырса, және сонан соң температурасын 320 К-ге дейін арттырса?

Берілгені:

$$m = 2 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$V = 40 \text{ л}$$

$$T_1 = 270 \text{ К}$$

$$T_2 = 320 \text{ К}$$

$$P_2 = 2P_1.$$

Шешуі:

Энтропия өзгерісі мына формуламен анықталады:

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}, \quad (99)$$

$$\Delta S = ?$$

мұндағы dQ — жылу мөлшерінің өзгерісі; T — термодинамикалық температура. Жылудың мөлшерінің өзгерісін идеал газ үшін термодинамиканың бірінші бастамасынан табуға болады:

$$dQ = \frac{m}{\mu} C_v dT + p dV. \quad (100)$$

мұнда

m — газ массасы ;

μ — молярлық масса;

C_v — молярлық изохоралық жылу сыйымдылық;

dT — газдың температура өзгерісі;

P — газ қысымы;

dV — көлем өзгерісі;

$p dV$ — газдың ұлғаю жұмысы.

P шамасын Менделеев – Клапейрон теңдеуінен табамыз:

$$p = \frac{m}{\mu V} RT.$$

Екі атомды газ үшін:

$$C_v = \frac{5}{2} R, \quad (101)$$

мұндағы $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ — универсал газ тұрақтысы.

(100)-ті (101) –ке қойған соң, табамыз:

$$dQ = \frac{5 \cdot m}{2 \cdot \mu} R dT + \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}. \quad (102)$$

(99) -ті (100) қойған соң, табамыз:

$$\Delta S = \frac{5 \cdot m}{2 \cdot \mu} R \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{mRT_1}{\mu T_1} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} R \left(\frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{V_2}{V_1} \right), \quad (103)$$

Изотермиялық процесс үшін:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}.$$

(103) теңдеуі орын табады:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} R \left(\frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{p_2}{p_1} \right).$$

Есептеулерді жасаймыз:

$$\Delta S = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \left(\frac{5}{2} \ln \frac{320}{270} - \ln 2 \right) = -2,27 \text{ Дж/К}.$$

Жауабы: $\Delta S = -2,27 \text{ Дж/К}$

28 есеп. Азоттың молекуласының эффективті диаметрін, егер кризистік температурасы 126 К болса табу керек, кризистік қысым 3,4 МПа.

Берілгені: $T_{\text{кр}} = 126 \text{ К}$
 $p_{\text{кр}} = 3,4 \text{ МПа}$
 $= 3,14 \cdot 10^6 \text{ Па}.$

Шешуі:
 Азот, шарт бойынша Ван-дер-Ваальс теңдеуіне бағыну керек:

$$\left(p + \frac{m^2 \cdot a}{\mu^2 \cdot V^2} \right) \cdot \left(V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT.$$

$d=?$

b тұрақтысын Ван-дер-Ваальс теңдеуінде белгілі дәлдікпен өз салмақтың 1 молінің төрт еселінген мәніне тең деп алуға болады. 1 молінде $6,02 \cdot 10^{23}$ молекулалар бар ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$), демек, бір молекуланың көлемі тең болады

$$V = \frac{\pi d^3}{6} = \frac{b}{4N_A},$$

Осыдан $d = \sqrt[3]{3b / (2\pi N_A)}$.

тұрақтысы $b = T_{\text{кр}} R / (8P_{\text{кр}})$, сонда:

$$d = \sqrt[3]{\frac{3T_{\text{кр}} R}{16\pi P_{\text{кр}} N_A}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 126 \cdot 8,31}{16 \cdot 3,14 \cdot 3,4 \cdot 10^6 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Жауабы: $d = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

29 есеп. 300К температурада қанықпаған бу су буының қысымы 1,5 кПа. Молекулалардың концентрациясын анықта.

Берілгені:

$$T=300 \text{ К}$$

$$P=1,5 \text{ кПа}$$

$$k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

n-?

Шешуі:

Газдың молекула-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуімен:

$$P = n \cdot k \cdot T$$

осыдан

$$n = \frac{P}{kT},$$

$$n = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}} = 3,62 \cdot 10^{-23} \text{ м}^{-3}$$

Жауабы: $n = 3,62 \cdot 10^{-23} \text{ м}^{-3}$

30 есеп. Массасы 20 кг, 4 тонналы, жылдамдығы 6 м/с бу балғасы 10 рет ұрған кезде детальді қыздыру үшін 50% кинетикалық энергиясы кетсе, онда болаттан жасалған детальдің температурасы қаншаға артады?

Берілгені:

$$m_{\text{болат}} = 20 \text{ кг}$$

$$c_{\text{болат}} = 4,6 \cdot 10^2 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$n = 10$$

$$m_{\text{балға}} = 4 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$v = 6 \text{ м/с}$$

$$\eta = 0,5$$

$$\Delta T - ?$$

Шешуі:

$$c_{\text{болат}} \cdot m_{\text{болат}} \cdot \Delta T = \frac{\eta \cdot n \cdot m_{\text{балға}} \cdot v^2}{2}$$

Балғаның кинетикалық энергиясы болат детальді ұрған моментте балғаның ішкі энергиясына айналды және детальді деформациялау үшін жұмыс жасалды, олай болса:

$$E_k \rightarrow \Delta U_{\text{балға}} + \Delta U_{\text{болат}} + A$$

Есептің шарты бойынша, $\Delta U_{\text{болат}} = \eta n E_k$

Жылу балансының теңдеуін құрып одан ΔT тапсақ:

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot n \cdot m_{\text{бола}} \cdot V^2}{2 \cdot c_{\text{болат}} \cdot M_{\text{болат}}}$$

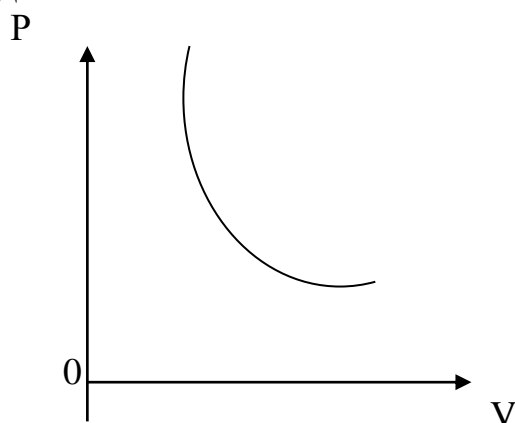
$$\Delta T = \frac{0,5 \cdot 10 \cdot 36 \text{ м}^2 / \text{с}^2 \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ кг}}{2 \cdot 466 \cdot 10^2 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 20 \text{ кг}} = 39,13 \text{ К}$$

Жауабы: $\Delta T = 39,13 \text{ К}$

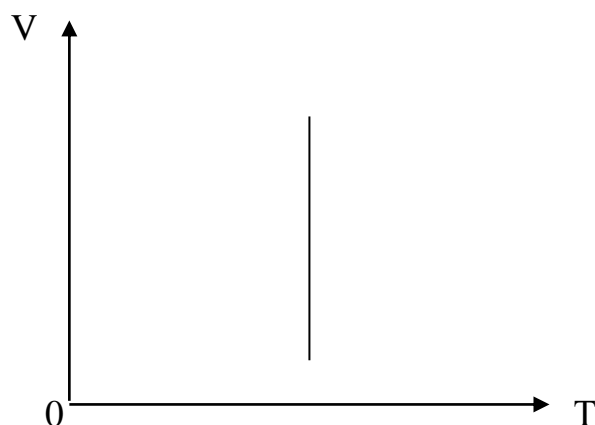
31 есеп. Газдың біраз массасы бір күйден екінші күйге $P_1 V_1 = P_2 V_2$ заңы бойынша өтеді. 20 сурет және 21 суретте көрсетілгендей изопроцестегі газдың V , P және T , V осіндегі графиктерінсыз. Координат осіндегі графиктер қиылыса ма?

Шешуі:

Тұрақты массада $P_1 V_1 = P_2 V_2$ теңдеуі идеал газдың изотермиялық процесін көрсетеді.



20 сурет – P , V координат графигі



21 сурет - V , T координат графигі

Графиктер координат осінде қиылыспайды, өйткені газдың көлемі, не оның қысымы нольге тең болуы мүмкін емес.

32 есеп. Адиабаттық сығылғанда $\nu = 1$ киломоль мөлшердегі екі атомды газ $A=146$ кДж жұмыс істейді. Сығылған кезде газдың температурасы қаншаға артады?

Берілгені:

$\nu = 1$ киломоль

$A=146$ кДж= $146 \cdot 10^3$ Дж

$i=5$

ΔT -?

Шешуі:

Адиабаттық сығылғанда $Q=0$, онда

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu} C_V \Delta T = -\frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = -\nu \frac{i}{2} R \Delta T$$

бұдан

$$\Delta T = \frac{2A}{\nu i R}$$

$$\Delta T = \frac{146 \cdot 10^3 \cdot 2}{10^3 \cdot 5 \cdot 8,31} = 7 \text{ K}$$

Жауабы: $\Delta T = 7 \text{ K}$

33 есеп. Адиабаттық ұлғайып азот 480 Дж жұмыс істейді. Ұлғайғанға дейінгі газдың температурасы $T_1=362$ К болса, газдың соңғы температурасын табыңыздар. Азоттың массасы $m=12$ кг, жылу сыйымдылығын тұрақты деп алыңыздар.

Берілгені:

$A=480$ Дж

$T_1=362$ К

$\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ кг / моль

T_2 -?

Шешуі:

Адиабаттық ұлғайғандағы істелетін жұмыс:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V^\gamma} dV = C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma},$$

$$PV^\gamma = \text{const} \quad \text{болғандықтан}$$

$$A = \frac{1}{\gamma-1} (V_1^{\gamma-1} \cdot C - V_2^{\gamma-1} \cdot C) = \frac{1}{\gamma-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1, \quad P_2 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_2$$

$$\text{ескерсек} \quad A = \frac{m}{\mu} R \frac{1}{\gamma-1} (T_1 - T_2)$$

$$\text{бұдан} \quad T_2 = T_1 - A \frac{m(\gamma-1)}{\mu R}$$

$$362 - 480 \frac{28}{12} \frac{(1,3-1)}{8,31} \approx 322 \text{ K}$$

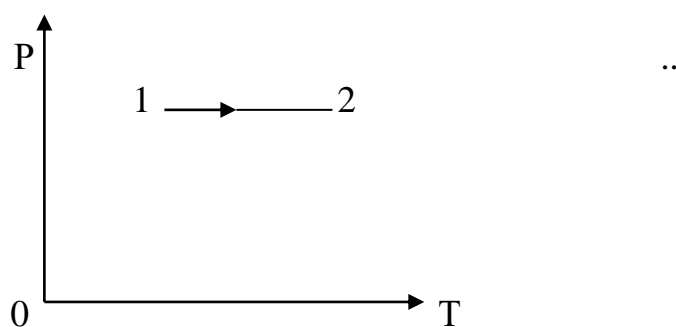
Жауабы: $T_2 \approx 322 \text{ K}$

Өз бетімен шығаратын есептер

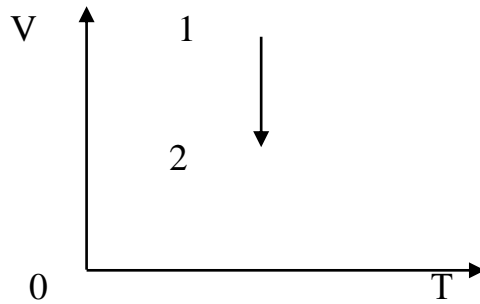
1 тапсырма. Молекула-кинетикалық теориясының негіздері

1. Реомюр шкаласы бойынша дененің температурасы 50°K болса, Цельсий шкаласында сол дененің температурасы неге тең?
3. Газдың бастапқы көлемі $0,15 \text{ м}^3$ еді. Газды изотермиялық түрде сығып, көлемін $0,10 \text{ м}^3$ -ге жеткізгенде, оның қысымы $0,2 \text{ Па}$ артты. Газдың бастапқы қысымы қандай еді?
6. Қалыпты қысымдағы 1 м^3 көлемде ауаның қанша молекуласы бар екенін анықта.
7. Күмістің бір молекуласының массасын анықта.
9. CO_2 көмірқышқыл газының бір молекуласының массасы NH_3 аммиактың бір молекуласының массасынан неше есе көп?
10. Баллонда 20 моль газ бар. Баллонда газдың қанша молекуласы бар?
11. Қалыпты жағдайда массасы $0,6 \text{ кг}$ сутегінің бір молекуласының массасын табу керек
12. Температурасы 4°C ал будың тығыздығы $0,0064 \text{ кг/м}^3$, судың тығыздығы 1000 кг/м^3 болса, онда су буының молекула аралық көлемі судың молекула аралық көлемінен неше есе үлкен?
13. Идеал газ молекулаларының қалыпты қысым және 23°C температура кезіндегі концентрациясын табу керек
14. Гелий атомының концентрациясы $2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, ал гелий атомының диаметрі $2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ тең. Еркін қозғалу ұзындығын есепте.
15. Ыдыстан ондағы газдың жартысын шығарып жібереді. Ыдыста қалған газдың қысымын 3 есе арттыру үшін оның абсолют температурасын қалай өзгерту керек?
16. Оттегі молекуласының жылдамдығы 400 м/с , секундына $8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ рет соқтығысады. Оттегі молекуласының диаметрі $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
Оттегі молекуласының концентрациясын есепте.
17. Идеал газдың V_0 көлем кезіндегі қысымы P_0 . Тұрақты масса кезінде газ қысымын изотермиялық түрде 4 есе арттырады. Газдың көлемі қалай өзгереді?
18. Әрбір молекула секундына $2 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ рет соқтығысқандағы газдың молекуласының жылдамдығы 1000 м/с болса, онда еркін қозғалу ұзындығын есепте.
19. $5 \cdot 10^{23}$ молекуланың барлығы бір бағытта 800 м/с жылдамдықпен қозғалды. Бір молекуланың массасы $4 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ тең. Қозғалыс мөлшері қандай болғаны?
20. Газ молекулаларының қысымы $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\lambda = 8 \cdot 10^{-8} \text{ м}$, қысымы $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ тең болғанда еркін қозғалу ұзындығы қаншаға тең?
21. Мольдік жылу сыйымдылығы $C_m = 12,46 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ тең. 10 моль болатын, тұрақты көлемде температурасы 50 K көтерілген бір атомды идеал газдың ішкі энергиясын есепте.
22. Мольдік жылу сыйымдылығы $C_m = 12,46 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$ тең. 5 моль болатын, тұрақты көлемде температурасы 50 K көтерілген бір атомды идеал газдың ішкі энергиясын есепте.

23. Көлемі 168 м^3 қалыпты жағдайдағы бөлменің ішіндегі барлық молекулалардың ішкі энергиясын тап.
24. Көлемі 2 м^3 идеал газдың барлық молекулалары қандай қысымда ішкі энергиясы 450 кДж құрау керек?
25. Көлемі $5 \times 6 \times 3 \text{ м}$ бөлмедегі, 27° С температурада, қалыпты қысымда бөлмедегі ауаның зат мөлшерін есепте.
26. 300 К температурадағы сутегі молекуласының орташа квадраттық жылдамдығын анықта.
27. Көлемі $0,02 \text{ м}^3$, массасы $0,03 \text{ кг}$, $2,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ қысыммен тұрған NH_3 аммиактың температурасы қандай болғаны?
28. Қалыпты жағдайдағы идеал газдың молекулалардың қозғалысының орташа кинетикалық энергиясын анықта.
29. Баллондағы көлемі $6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$, 7° С температура мен $1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ қысымдағы NO_3 азот тотығының массасын есепте.
30. Оттегінің 320 К температурадағы орташа квадраттық жылдамдығы 500 м/с тең. Д.И. Менделеевтің элементтердің периодтық жүйесін пайдаланбай оттегі молекуласының массасын есепте.
31. Температурасы 27° С , тығыздығы $6,24 \text{ кг/м}^3$ баллондағы ауа қандай қысыммен орналасқан?
32. Қандай температурада CO_2 көмірқышқыл газының орташа квадраттық жылдамдығы 400 м/с тең болады?
33. Қысымы $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ оттегінің температурасы 320 К тығыздығын анықта.
34. $7,48 \cdot 10^5 \text{ Па}$ қысымда температурасы 300 К , көлемі $0,5 \text{ м}^3$ ыдыста қанша молекула орналасқан?
35. Көлемдері 3 л , 7 л және 5 л болатын үш баллон бірдей температурадағы оттегімен (5 ат), азотпен (3 ат) және көмірқышқыл газбен ($0,6 \text{ ат}$) толтырылған. Баллондарды бір-бірімен қосқан кезде температурасы бастапқы температураға тең қоспа пайда болады. Қоспаның қысымы қандай?
36. Идеал газдың изотермиялық, изобаралық және изохоралық процестерінің pT , VT координаталарындағы графиктерін сызындар.
37. Газ суреттерде көрсетілгендей 1-ші күйден 2-ші күйге көшті (22, 23 сурет). Бұл қандай процесс? Газдың тығыздығы қалай өзгерді?



22 сурет – p , T координат графигі



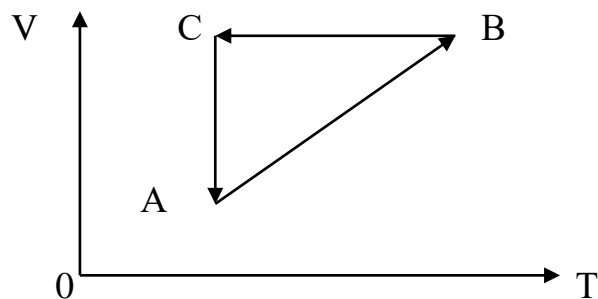
23 сурет – V, T координат графигі

38. Идеал газды изохоралық қыздыру кезінде 320К температурада оның қысымы $1,4 \cdot 10^5$ Па- дан $2,1 \cdot 10^5$ Па-ға дейін артты. Газдың температурасы қалай өзгерді?

39. Идеал газ температурасы 290К изобаралық суыну кезінде көлемі екі есе азайды. Идеал газдың бастапқы және соңғы температурасын анықта. Изопроцестегі T, V тәуелді графигін сыз.

40. Температурасы 52°C баллондағы газдың қысымы $2 \cdot 10^5$ Па тең. Егер $2,1 \cdot 10^5$ Па тең болса, онда температурасы қандай болғаны?

41. 24 суретте V, T координат осінде, тұйық циклде газ күйінің өзгеруі көрсетілген. Осы тұйық контурдағы газ күйінің өзгеруін T, V осінде көрсет.



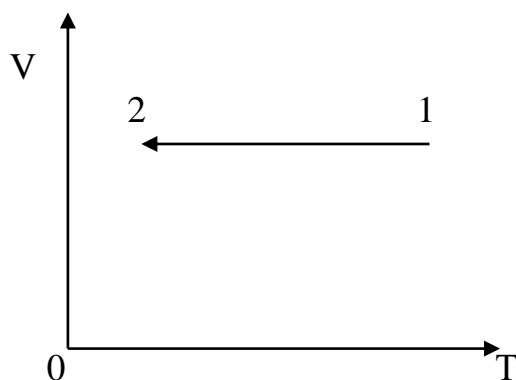
24 сурет – V, T координат графигі

42. Ыдыстың қабырғасына 727°C температурада газ $2 \cdot 10^5$ Па қысым түсіре отырып, 8 л көлемді алады. Ал -23°C температурада 160 л көлемді алса, онда қысымы қандай болғаны?

43. 480К температурада идеал газдың изохоралық суынуы кезінде қысымы 1,5 есеге азайды. Газдың соңғы температурасы қандай болды?

44. Массасы 6 кг газдың $2 \cdot 10^5$ Па қысымдағы көлемі 8 м^3 және температурасы -23°C тең. Массасы 5 кг газдың температурасы 300К болғандағы қысымы $4 \cdot 10^5$ Па болуы үшін қандай көлемді алады?

45. 25 суретте көрсетілгендей газ 1-ші күйден 2-ші күйге өтті. Газ күйінде қандай өзгерістер болды және оның макроскопиялық параметрлері қалай өзгереді.



25 сурет – V, T координат графигі

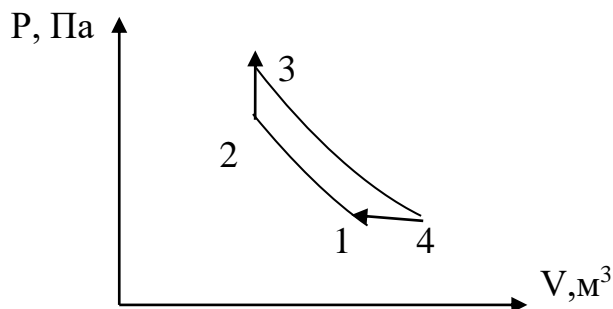
46. 300 К температурада $2,8 \cdot 10^5$ Па қысым тудырады, газдың көлемі $0,8 \text{ м}^3$ тең. $1,6 \cdot 10^5$ Па қысымда оның көлемі $1,4 \text{ м}^3$ болса, онда сол массадағы газдың температурасын қанша кельвинге арттыруға болады?
47. Көмірқышқыл газдың тығыздығы $4,91 \text{ кг/м}^3$, 330К температурада қысымы қандай болғаны?
48. Идеал газды изобаралық қыздыру кезінде 280К температурада тығыздығыекі есе азайды. Газдың температурасы қанша кельвинге артты?
49. Сыйымдылығы $0,1 \text{ м}^3$ баллонда ауа бар. Оның температурасы 250К , ал қысымы $5 \cdot 10^5$ Па тең. Қалыпты жағдайда осы ауаның көлемін анықта
50. Температурасын 200К -ге дейін төмендетсе 4 моль бір атомды идеал газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді?
51. Баллон ішінде 100°C температурада газ берілген. Оның қысымы екі есе арттыру үшін газды неше градус температураға дейін қыздыру керек.
52. Зат мөлшері 1 кмоль қысымы 1МПа және 400К температурадағы идеал газ қандай көлемді алады.
53. Массасы 1 кг азот пен 1 кг гелий қоспасы қандай көлемді қалыпты жағдайда алып тұр.
54. 1) гелий, 2) сутегі, 3) CO_2 газдардың c_v мен c_p меншікті жылу сыйымдылықтарды есептеу керек.
55. Массасы 5 кг азот $\Delta T = 150\text{К}$ -ға қыздырылғын, өзінің көлемін V өзгермейтін болып қалдырды. 1) газға берілген Q жылу мөлшерін, 2) ішкі энергия өзгерісін, 3) газ жасаған жұмысын табу керек.
56. Сутегі ұлғая отырып 6 кДж жұмыс жасады. Газға берілген жылу мөлшерін табу керек, егер процес: 1) изобаралық, 2) изотермиялық жасалса.

2 тапсырма. Термодинамика және оны изопроцестерге қолдану

1. 280К температурада қысымы $4 \cdot 10^5$ Па газ $0,1 \text{ м}^3$ көлемді алады. Газдың көлемін арттыра отырып, тұрақты қысымда 420К -ге дейін қыздыру үшін қандай жұмыс атқарылуы керек?

2. CO_2 көмірқышқыл газдың бір килограммының температурасын 268К-нен 400К-ге дейін арттырды. Газдың көлемін арттыру үшін атқарылатын жұмысты анықта.
3. O_2 оттегіні 200К изобаралық қыздырып, көлемін арттыру үшін 25 кДж жұмыс атқарылады. Оттегінің массасын анықта.
4. Массасы 160 г оттегі изобаралық 100К-ге дейін қыздырылады. Газдың көлемін арттыру және ішкі энергиясын өзгертетін жұмысты анықта.
5. 5кг NH_3 аммиактың температурасы 340К тең болса, онда ішкі энергиясын анықта.
6. 0,56 кг N_2 азотты 370К температураға дейін қыздырып, көлемін арттыру үшін 16,62кДж жұмыс істелсе, онда бастапқы температурасы қандай болғаны?
7. O_2 оттегінің 960 граммын 80К суыту үшін ішкі энергиясын қаншаға азаяды?
8. $3 \cdot 10^5$ Па қысымда, изобаралық процесте көлемі 3есе артты. Көлемін ұлғайту үшін 12,9 кДж жұмыс атқарады. Газдың бастапқы көлемін анықта.
9. 283К температурадағы 200кг суды 373К температураға көтеріп, араласқан судың температурасынан 310К алу үшін қанша су қосу керек?
10. Изохоралық процесте газға $4 \cdot 10^{10}$ Дж жылу берілді. Газдың ұлғаюына қарай ішкі энергияны және жұмыстың өзгеруін есепте.
11. Изобаралық ұлғаю кезінде 20 г сутегінің көлемі екі есе ұлғайды. Газдың бастапқы температурасы 300К. Газға берілген жылу мөлшерін, ішкі энергияның өзгеруін, газ ұлғайғандағы атқарылған жұмысты анықта.
12. Көмірқышқыл газы CO_2 –нің төрт молі 100К тұрақты қысымда қыздырылған. Газдың ішкі энергиясының өзгеруін, жұмыстың ұлғаюын және жылу мөлшерін анықта.
13. 0,6 кг қорғасынды температурасы 300К, массасы 3 кг суға батырған кезде ол 2К көтерілді. Бастапқы температурасын анықта.
14. Баяу изотермиялық процесте газға $8 \cdot 10^6$ Дж жылу берілді. Газ қандай жұмыс істеді? Көлемі қалай өзгерді?
15. Екі атомды газға 14 кДж жылу берілген. Тұрақты қысымда газ ұлғаяды. Ішкі энергияны өзгертудегі және газды ұлғайтудағы атқарылған жұмысты тап.
16. Массасы 20 кг, 4 тонналы, жылдамдығы 6 м/с бу балғасы 10 рет ұрған кезде детальді қыздыру үшін 50% кинетикалық энергиясы кетсе, онда болаттан жасалған детальдің температурасы қаншаға артады?
17. $8 \cdot 10^4$ Дж жылу бере отырып, газ $2 \cdot 10^5$ Дж жұмыс атқарды. Газдың ішкі энергиясының өзгеруі неге тең? Газға не болады (суиды ма, қызады ма)?
18. Бір атомды газ изобаралық ұлғаюы кезінде атқарылған жұмыс оның көлемін 50 кДж ұлғайтқан. Осы газдың ішкі энергиясының ұлғаюын және жылу мөлшерін есепте.
19. Массасы 0,5 кг, 1073 К дейін қыздырылған болат детальді массасы 10 кг, температурасы 288К суға салды. Болаттан жасалған детальдің температурасы қанша градусқа дейін төмендеді?
20. Адиабаталық процесс кезінде $\Delta A = -3 \cdot 10^9$ Дж. Бұл жағдайда газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді? Газ суиды ма, қызады ма?

21. Газ өзгерісінің жабық циклы яғни екі адиабаталық, бір изохоралық және бір изобаралық күйден тұратын процестер кескінделген. V , P параметрлерін анықта (26 сурет).



26 сурет – P , V координат графигі

22. Жұмыстық дене қыздырғыштан $1,1 \cdot 10^7$ Дж жылу алып, $9,5 \cdot 10^6$ Дж жылуды суытқышқа береді. Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициентін анықта.

23. Жылу машинасының ең үлкен пайдалы әсер коэффициенті 45%. Егер қыздырғыштың температурасы 820 К болса, онда суытқыштың температурасы қандай болғаны?

24. Карно циклы бойынша жылу машинасы әр цикл сайын қыздырғыштан 2500 Дж жылу алады. Қыздырғыштың температурасы 400 К, суытқыштың температурасы 300 К тең. Бір циклдегі машинаның атқарған жұмысын, суытқышқа беретін жылу мөлшерін анықта.

25. Жылу машинасы Карно циклы бойынша жұмыс істейді. Бір циклде машина 1 кДж жұмыс атқарып, 4 кДж жылуды суытқышқа береді. Машинаның пайдалы әсер коэффициентін есепте.

26. Температурасы 300 К, қысымы $3 \cdot 10^4$ Па қаныққан су буын сұйықтан бөліп алып, тұрақты көлемде 350 К дейін қыздырды. Осы температурадағы будың қысымын анықта.

27. Қаныққан су буының 1306 Па қысымда температурасы 284 К тең. Бу молекулаларының концентрациясын анықта.

28. Қысымы 19,92 кПа, температурасы 60°C тең болғандағы қаныққан су буының тығыздығын тап.

29. 300К температурада қанықпаған бу су буының қысымы 1,5 кПа. Молекулалардың концентрациясын анықта.

30. Қанықпаған су буының температурасы 300 К, қысымы 1600 Па тең. Берілген температурадағы қаныққан су буының қысымы 2000 Па болады. Әр м^3 сайын қаныққан бу болуы үшін қанша судың молекуласы буға айналуы керек?

31. Карноның циклі бойынша жұмыс істейтін идеал жылу машинасы, әрбір цикл ішінде жылытқыштан 2,5 кДж жылу алады, Жылытқыштың температурасы 400°K , ал суытқыштың температурасы 300°K . Машинаның бір

циклдегі істейтін жұмысын және осы бір циклдегі суытқышқа беретін жылу мөлшерін табу керек.

32. Азот пен көміртекті газ қоспасының қысымы 20 кПа, демек азоттың қысымы 12 кПа. Көміртектің парциалды қысымын табу керек:

33. Егер оттегі молекулалардың концентрациясы көлемі ($m = 0,032 \text{ кг/моль}$) 5 л ыдыста $4,7 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$, тең болса, онда ыдыстағы газдың массасы

34. Изохоралық процесс кезінде азотқа 43 Дж жылу берілген. Азоттың ішкі энергиясының артуына жұмсалған жылу мөлшерін анықтаңдар

35. Оттегінің 2 кг 300 К температурада қайтымды 300 Дж жылуды береді. Газ энтропиясының өзгерісі

36. Молярлық массасы $\mu = 0,004 \text{ кг/моль}$ гелийдің 4 граммының адиабаталық сығылу кезінде, 600 Дж-ге тең жұмыс жасалған. Осы процесте гелийдің температура өзгерісі тең болады

37. Идеал жылу машинада қыздырғыштан алынған әр бір килоджоуль энергия есебінен 300 Дж жұмыс жасалады. Машинаның ПӘКін және қыздырғыш температурасын анықтау керек. Суытқыш температурасы 280 К

38. Карноның кері циклі бойынша жұмыс жасайтын суытқыш машина камерада $t_2 = -10^\circ\text{C}$ температурасын қоршаған ортаның $t_1 = 20^\circ\text{C}$ температурасында ұстап тұру керек. Машинаның жұмыстық дене үстінен камерадан $Q = 140 \text{ кДж}$ жылуды алып тастау үшін қай жұмысты жасау керек.

39. Кері Карно циклі бойынша жұмыс жасайтын идеал жылу машина, су суытқыштан $t_1 = 0^\circ\text{C}$ температурада жылуды алып, су мен кипятильникке $t_2 = 100^\circ\text{C}$ температура кезінде береді. Судың $m = 1 \text{ кг}$ массасын буландыру үшін судың қанша мөлшерін мұздату керек ($=335 \text{ КДж/кг}$ – мұздың меншікті балқу жылуы, $= 2,26 \text{ МДж/кг}$ меншікті буға айналу жылуы)

40. 1 моль көлеміндегі газ, екі изохорамен екі изобарадан тұратын цикл жасайды. Газдардың ең аз көлемі 10л, ең үлкен көлемі 20л. Ең аз қысымы 2,5, ең артық 5. Цикл ішіндегі жұмыс неге тең.

41. 350 К температурада оттегінің бір молекуланың айналым қозғалысының орташа кинетикалық энергиясын табу керек.

42. Білікте $1,5 \cdot 10^8 \text{ Па}$ кернеу пайда болу үшін оған түсірілген күштің модулі неге тең болу керек, білік диаметрі 0,4 см.

43. Газдағы зат мөлшерін анықтау керек, 200 кПа қысымда және 240 К температурада оның көлемі 40 л ($R=8,31 \text{ Дж/К*моль}$) тең.

44. Қалыпты жағдайда, егер еркін жол ұзындығы $l = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ болса, сутегінің D диффузия коэффициентін табу керек.

Зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау

Әр студент екі парақ бетіне төмендегі пішін бойынша зертханалық жұмысқа есеп береді (Қосымша А):

Жұмыс мақсаты:

Сіздер алға қойылған мақсатты, оны шешу тәсілдерін, болашақтағы нәтижелерді, және олар арасындағы байланысты көрсетулеріңіз керек.

Формулалар мен есептеулер:

Бұл жерде тек негізгі нәтижені анықтайтын формула көрсетіледі.

Суреттер мен схемалар:

Схема мен суреттер жұмысты анықтау үшін қолданады.

Құралдар:

Барлық қолданатын құралдар көрсетіледі.

Өлшеуіш жабдықтар:

Есептеу үшін қолданатын жабдықтар көрсетіледі. Өлшеуіш құралдың нәтижелерін кестеге түсіру керек.

Құрал атауы	Өлшеу шегі	Шкала бөлігіні құны	Абсолюттік қателігі	Өлшем бірлігі

Өлшеу нәтижелері:

Өлшеу нәтижелері және есептеулері кестеге түсіріледі, егер нәтижелер сан көп болса, онда кестені екі түрге бөлуге болады: біреуі - өлшеуіш нәтижелерге, екіншісі - есептеуіш нәтижелерге арналған. Кестелік берілгендер және тұрақты шамалар кестеге жазылмайды, бөлек жазылады.

Кесте басында өлшенетін шаманың әріптік белгісі, үтір арқылы СИ жүйеде өлшем бірлігі. Өлшенетін шаманың сан мәнінің өлшем бірлігі жазылмайды. Өлшеу нәтижелерін анықтап, кестені толтырып оқытушыға қол қойюға беру керек.

Есептеу:

Бұл процесте экспериментальдық нәтижелерді есептеуіш формулаға қойып есептеуін керек. Тек бір тәжірибенің есептеуін көрсету керек, ал басқа тәжірибелер нәтижесін кестеге түсіру керек. Абсолюттік және салыстырмалық қателіктерді есептеу керек. Есептеу нәтижелерін тексеруге, қол қоюға оқытушыға беру керек.

Қорытынды:

Жұмыс мақсатынан қортынды шығару үшін мына сұрақтарға жауап беру керек:

- 1) Зертханалық жұмыстың мақсаты орындалды ма?
- 2) Шыққан нәтижелер және қателіктер қандай?
- 3) Шыққан нәтижелер теориялық және кестелік нәтижеге сәйкес келеді ме? Айырмашылық себебін анықтау керек.

Жұмысқа есеп берудің бірінші бетіндегі нұсқаулар түгел орындалса, жұмысты оқытушыға, сынақ алу керек .

Зертханалық жұмыс № 1

Қатты денелердің меншікті жылу сыйымдылығын анықтау

Сабақтың оқу мақсаты:

Әр түрлі денелердің меншікті жылу сыйымдылығын анықтау.

Құрал- жабдықтар: Қыздырғыш (электроплитка), химиялық стакан, калориметр, термометр, таразы.

Кіріспе

Массасы m денені қайнап тұрған суға түсіреміз. Дене температурасы судың t_2 қайнау температурасына жететіні айқын. Қайнап тұрған судан суық су бар калориметрге (m_{cy} судың массасы, t_0 сумен калориметрдің температурасы) денені салу керек.

Жылу алмасу нәтижесінде калориметрде тепе-теңдік температура t_1 болады. Калориметр мен суға берілген жылу мөлшері :

$$Q_1 = mc (t_2 - t_1) \quad (104)$$

мұндағы :

c – дененің меншікті жылу сыйымдылығы.

Калориметр мен су алған жылу мөлшері:

$$Q_2 = m_k c_k (t_1 - t_0) + m_{cy} c_{cy} (t_1 - t_0) = (m_k c_k + m_{cy} c_{cy}) (t_1 - t_0) \quad (105)$$

мұндағы :

m_k – калориметр массасы;

c_k - калориметрдің жылу сыйымдылығы, $c_k = 896$ Дж/кг К;

c_{cy} - судың меншікті жылу сыйымдылығы, $c_{cy} = 4200$ Дж/кг К;

Энергияның сақталу заңынан мынаны жазуға болады :

$$Q_1 = Q_2 \text{ немесе } mc (t_2 - t_1) = (m_k c_k + m_{cy} c_{cy}) (t_1 - t_0) \quad (106)$$

Осыдан дененің ізделініп тұрған меншікті жылу сыйымдылығын табуға болады

$$c = \frac{(m_k c_k + m_{cy} c_{cy}) (t_1 - t_0)}{m (t_2 - t_1)} \quad (107)$$

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Электрқыздырғышқа су бар стаканды қою керек.
2. Зерттелетін дененің массасын анықтау керек m . (латунь массасы - 160 г; алюминийдікі - 50 г.)

3. Калориметрдің ішкі ыдыс массасын анықтау керек m_k . (калориметрдің массасы - 47 г.)
4. Өлшеу цилиндр көмегімен салқын су массасын m_{cy} өлшеп калориметрге құю керек.
5. Калориметр ішіндегі судың температурасын t_0 өлшеу керек.
6. Зерттелетін денені сым көмегімен электр қыздырғыштағы қайнап тұрған суға салып су қайнағанша ұстап тұру керек.
7. Калориметрдегі қайнап тұрған су ішінен зерттелетін денені тез калориметрге салу керек және бір неше минут өткен соң тепе-теңдік температураны t_1 өлшеу керек.
8. Судың қайнау температурасын мына формуламен анықтау керек:
 $t_2 = [100 + 0,0375(p - 760 \text{ мм.сын.бағ.})], ^\circ\text{C}$.
9. Барометр көмегімен P қысымды анықтау керек.
10. Алынған нәтижені кестеге жазып оқытушыға көрсету керек.
11. (107) формула бойынша дененің меншікті жылу сыйымдылығын анықтау керек.
12. Абсолют және салыстырмалы қателіктерді есептеу керек.

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{C} 100\% =$$

$$= 2 \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta m_k}{m_k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta t}{t_2 - t_1}\right)^2} + \right.$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{\Delta m_k}{m_k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_0}{t_0}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta t}{t_2 - t_1}\right)^2} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{\Delta m_B}{m_B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta t}{t_2 - t_1}\right)^2} +$$

$$\left. + \sqrt{\left(\frac{\Delta m_B}{m_B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_0}{t_0}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta t}{t_2 - t_1}\right)^2} \right) 100\%$$

$$\Delta m = \Delta m_k = \Delta m_{cy} = 0.5 \text{ г.}$$

$$\Delta t = \Delta t_0 = \Delta t_1 - \text{термометр шкаласы бөлігінің жартысы.}$$

Бақылау сұрақтары

1. Заттың меншікті жылу сыйымдылығы дегеніміз не? Ол қандай өлшем бірлігімен өлшенеді?
2. Жұмыста қандай жылу жоғалуы есепке алынбады.
3. Жылу алмасу процестер үшін энергияның сақталу заңын тұжырымдаңдар.

Зертханалық жұмыс № 2

Қатты дененің ұлғаю коэффициентін анықтау

Сабақтың оқу мақсаты:

Температураның өзгеруіне байланысты әртүрлі денелердің сызықтық өлшемдерінің өзгеру құбылысын зерттеу.

Құрал- жабдықтар: Дененің сызықтық ұлғаюын өлшейтін құрал, термометр.

Кіріспе:

Көптеген денелер температурасын жоғарлатқанда өзінің өлшемдерін үлкейтеді.

Алғашқы ұзындығы L денені қыздырған кезде, температураның өзгеруіне dt пропорционал, салыстырмалы ұзаруға ие болады.

$$\frac{dl}{l} = \alpha dt \quad (108)$$

мұнда

α – пропорционалдық коэффициент немесе сызықтық ұлғаю коэффициенті деп аталады.

Сызықтық ұлғаю коэффициенті дененің температурасын бір градусқа өзгерткенде салыстырмалы ұзаруды анықтайды. Іс жүзінде температура аз ғана өзгергенде α өте аз өзгереді. Сызықтық ұлғаю коэффициентінің шамасын мына формуламен есептеуге болады.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0(t_2 - t_1)} \quad (109)$$

мұнда:

t_1 - дененің бастапқы температурасы;

t_2 - дененің соңғы температурасы;

ΔL – стерженнің ұзаруы.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

Пробиркаға аз мөлшерде су құйылады.

1. Судың бастапқы температурасын t_1 өлшеп, пробирканы қыздырғышқа қою керек.
2. Пробиркаға зерттелетін стержень салынады.
3. Стерженнің жоғарғы ұшына индикатор қосылады.
4. Индикатор стрелкасының алғашқы қалпын белгілеп алу керек n_1 .
5. Қыздырғышты тізбекке қосып, суды қайнағанша қыздырамыз. Индикатор стрелкасы қозғалады, оның екінші күйін белгілеп аламыз n_2 .

$$\Delta L = (n_2 - n_1) 0,01 \text{ мм} ,$$

(109) формула бойынша α - сызықтық ұлғаю коэффициентін анықтаймыз.

6. Осындай өлшеуді басқа стержендер үшін қайталаймыз.

Бақылау сұрақтары:

1. Молекула-кинетикалық теория бойынша дененің жылулық ұлғаюын қалай түсіндіруге болады?
2. Жылу берілу деген не?
3. Жылу берілу қандай факторларға байланысты?
4. Жылу өткізгіштік коэффициенті нені көрсетеді?
5. Неге терезені екі қабат етіп жасайды?
6. Неге өзен түбіне дейін қатпайды?

Зертханалық жұмыс № 3

Ауаның жылу сыйымдылығының c_p/c_v қатынасын Клеман-Дезорм тәсілімен анықтау

Сабақтың оқу мақсаты:

Адам қолданатын энергияның 80% жылулық энергияға жатады. Энергияның қолдануында, таратуында, өндіруінде ішкі энергияның, жылу сыйымдылықтың мәні өте зор. Осы зертханалық жұмысты жасағанда студенттер ішкі энергияның ауысуымен, өзгеріуімен танысып және оларды есептеуді газодинамика теңдеуі арқылы үйренеді. Осы үйренген жылу техника, суытқыш техника және ішкі жану қозғалтқыштың жұмыс істеуін, олар ішінде термодинамикалық процесстерді түсіну үшін қажет.

Зертханалық жұмыстың мазмұны.

Эксперименталь түрде ауаның жылу сыйымдылығының c_p/c_v қатынасын Клеман-Дезорм тәсілімен анықтап, теориялық және кестелік нәтижесімен салыстыру.

Негізгі материал.

Жұмысты дұрыс жасап тапсыру үшін энергияның сақталу заңын, идеал газ теңдеуін, газ қысымының физикалық негізін, ішкі энергияны, идеал газ сыйымдылығын, адиабат теңдеуін негізінен өте жақсы білу керек.

Сабаққа дайындық.

Қайталау, қажет болса базалық материалдың негізгі сұрақтарын оқу.
Мысалы:

Н. Қойшыбаев. А.О. Шарықбаев. Физика I том, Алматы 2001 бет.133-160.

И.В. Савельев. Жалпы физика курсы 1, «Мектеп» Алматы- 1977 бет. 322-347, (дәріс материалдары).

Кіріспе бақылау (өздік тексеру)

Зертханалық жұмысқа дайындық жұмыс жасау үшін кесте бойынша және жалпы анықтамалар бойынша тексеріледі.

1. Балонға ауаны үргілегенде кран К1 ашық болу керек.
2. Не себептен кран К1 жауып бірнеше минут күте тұру керек?
3. Не үшін алдағы тәжірибелерде биіктік айырмасын тұрақты ұстау керек?
4. Не себептінен 4 клапанды ашқандағы процесті адиабаттық деп санауға болады?
5. Не себептен қысымды өлшеу қысым өзгергеннен кейін біраз уақыт өткесін жүргізіледі.
6. Не себептен өлшемдерді 5 тен кем жүргізуге болмайды?

Түсініктеме: ауаны балонға ақырын үрлеу керек (балондағы ауаның температурасы жоғарламау үшін) және (сұйықтың төменгі биіктігі манометрдің коленасына).

Құрал- жабдықтар:

Лабораториялық құрал, секундөлшегіш.

Кіріспе:

Қандайда да бір дененің жылу сыйымдылығы деп оның температурасын бір градусқа көтеру үшін керекті жылу мөлшеріне тең шаманы айтады. (Дж/К).

Заттың бірлік массасының жылу сыйымдылығы меншікті жылу сыйымдылық деп аталады. Заттың молінің жылу сыйымдылығы мольдік меншікті жылу сыйымдылық деп аталады. Сонымен, $C = \frac{\delta Q}{mdT}$; (Дж/кг.К)

$$C_m = \frac{\delta Q}{\frac{m}{M} dT}, \text{ (Дж/моль.К)} \quad (110)$$

мұндағы

C және C_m - меншікті және мольдік меншікті жылу сыйымдылық;

δQ - денеге берілген жылу мөлшері;

dT - температураның арттыруы;

m - дененің массасы;

M - заттың мольдік массасы.

Жылу сыйымдылығының шамасы денені қыздыру шарттарына тәуелді болады. Қыздыруды көлем немесе қысым тұрақты болған жағдайда жүргізгендегі жылу сыйымдылықтың айрықша маңызы бар. Бірінші жағдайда жылу сыйымдылық (C_V деп белгіленеді), екінші жағдайда – тұрақты қысым кезіндегі жылу сыйымдылық (C_p .деп белгілененді) деп аталады. Идеал газдың изобарлық және изохорлық қыздырған кезде жылу сыйымдылығын қарастырайық. Термодинамиканың бірінші бастамасы бойынша изобарлық процесс кезінде ($p = \text{const}$), барлық жылу дененің ішкі энергиясын арттыруға және сыртқы күштерге қарсы жұмыс істеуге жұмсалады.

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Идеал газдың ішкі энергиясының арттыруы тең:

$$dU = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R dT$$

Изобарлық ұлғайғанда тепе- теңдік күйде элементар жұмыс тең:

$$\delta A_p = p dV = \frac{m}{M} R dT.$$

Осы себептен,

$$\delta Q = \frac{m}{M} R \left(\frac{i}{2} + 1 \right) dT. \quad (111)$$

(110) және (111) идеал газдың тұрақты көлем кезіндегі мольдік меншікті жылу сыйымдылық шығады.

$$C_P = \frac{i+2}{2} R, \quad (112)$$

мұндағы

i - газ молекуласының еркіндік дәреже саны;

R – газдың универсал тұрақтысы.

Газды изохоралық қыздырғанда ($V=\text{const}$) оның сыртқы күштерге қарсы жұмысы нөлге тең. ($\delta A = p dV = 0$), барлық берілген жылу мөлшері ішкі энергияны арттыруға жұмсалады. ($\delta Q = dU$), бұл кезде мольдік жылу сыйымдылық тең:

$$C_V = \frac{i}{2} R. \quad (113)$$

Демек, идеал газдың мольдік жылу сыйымдылығы температураға тәуелсіз тұрақты шама.

(112) және (113) теңдіктер бойынша C_P және C_V қатнасы тең.

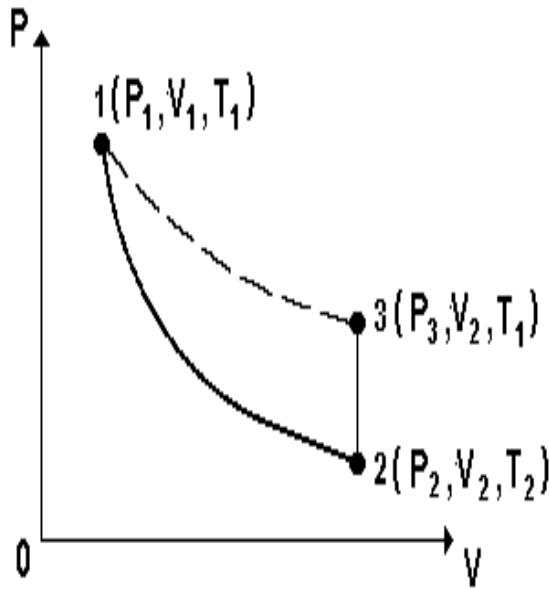
$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (114)$$

γ - шамасы молекуланың еркіндік дәрежесінің саны мен сипаты арқылы анықталады, Пуассон коэффициенті деп аталады. γ шамасын анықтаудың маңызы өте зор, себебі ол адиабаттық процестерді анықтайтын теңдікке кіреді, оған ұқсас жағдайларда қолданады, мысалы, дыбыстың таралуы, газдың дыбыс және одан жоғары жылдамдықпен таралуы.

Молекуланың еркіндік дәрежесінің санын біле отырып бір компоненттік газ үшін γ - коэффициентін анықтауға болады. Брақ газ қоспалары үшін γ - коэффициентін анықтау қиындыққа түседі, себебі қоспаның пайыздың шамасын білу керек, осы себепті біле отырып γ - коэффициентін тәжірибе арқылы анықтауға болады.

Бұл жұмыстың мақсаты γ коэффициентін қарапайым эксперимент арқылы Клеман-Дезорм тәсілі арқылы анықтау.

Клеман-Дезорм тәсілі арқылы γ коэффициентін анықтау негізі газ қысымын өлшеу. Ыдыстағы газ қысымы газдың үш күйінде өлшенеді: газ бірінші күйден екінші күіге адиабаттық процесте, екінші күйден үшінші күіге изохорлық процесте ауысқанда. Бұл жағдайды анығырақ қарастырайық. Шыны ыдысқа p_1 , қысымға дейін ауа үрленеді, бұл қысым атмосфермалық қысымнан аз p_0 шамаға. Сонда, $p_1 = p_0 + p'$ және $p' \ll p_0$. Қоршаған жүйемен термодинамикалық тепе-теңдіке келгенде балондағы температура T_1 болады. Газдың бастапқы күйінің (күй 1 сурет 27) параметрлары.



27 сурет - Термодинамикалық процестер графиктері

Содан соң баллон клапан K_2 (28 сурет) арқылы атмосферамен қосылады, бұл кезде баллондағы қысым p_2 қысымға дейін төмендейді, $p_2 = p_0$

Газдың ұлғаю процесі өте тез өтеді, қоршаған жүйемен жылу алмасу болмайды, сол себептен бұл процес адиабаттық болады.

Баллондағы ауа (сурет 27) параметрлары p_2, V_2, T_2 екінші күйге ауысады, бұл кезде $V_2 > V_1$, а $T_2 < T_1$. V_2 баллонның көлемі. Адиабаттық ұлғаюда ауаның бір бөлігі атмосфераға шығады. V_1 – ауаның бірінші күйдегі көлемі, баллон көлемінен аз (p_1 қысым кезіндегі атмосфераға шыққан мөлшерге. 1 және 2 күйдегі байланыс Пуассон теңдеуі арқылы анықталады. $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ екінші

жағдайда $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Осыдан көлем мен қысым арқылы байланыс шығады.

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^\gamma, \quad (115)$$

Әрі қарай клапан (2 жабылғаннан кейін) балондағы ауа T_1 қоршаған жүйенің температурасына дейін изохорлық күйде қызады, ал қысымы p_3 дейін көтеріледі, атмосфералық қысымнан p_0 аз шамаға p'' артып үшінші күйге параметрлері : p_3, V_2, T_1 ауысады, бұл жағдайда

$$p_3 = p_0 + p'' \quad (p'' \ll p_0).$$

2 және 3 күй арасындағы байланыс изохоралық процесс теңдеуінен анықталады.

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_1} \quad (116)$$

(115) және (116) формуладан $p_1 = p_0 + p'$, ал $p_3 = p_0 + p''$ теңдікті еске ала отырып мынаны шығарамыз $\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_3}{p_2}\right)^{\gamma}$,

$$\left(\frac{p_0 + p'}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_0 + p''}{p_0}\right)^{\gamma}, \left(1 + \frac{p'}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{p''}{p_0}\right)^{\gamma}, p' \ll p_0 \text{ және } p'' \ll p_0,$$

болғандықтан, еске сақтай отырып, мына өрнекті шығарамыз.

$$1 + (\gamma - 1) \frac{p^{\odot}}{p_0} = 1 + \gamma \frac{p^{\odot\odot}}{p_0}$$

осыдан

$$\gamma = \frac{p^{\odot\odot}}{p^{\odot} - p^{\odot\odot}}, \quad (117)$$

p' және p'' сұйықтық манометр арқылы өлшенеді. Сұйықтың биіктік қысымы сұйық тығыздығына ρ және биіктігіне h пропорционал болатынын еске ала отырып, p' және p'' қысымды былай анықтауға болады. $p' = \rho g h_1$,

$$p'' = \rho g h_2 \quad (118)$$

мұндағы

g – еркін түсу үдеу

(117) –ге (118), қойғанда, мына γ -ді анықтайтын есептеуіш формула шығады.

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}, \quad (119)$$

Құрал құрылысының анықтамасы.

Құралдың бергі бетінде судың U-манометр (1) сызғыш (2) –мен орналасқан, кран К1 (3), ауа жіберетін, клапан К2 (4) қысым түсіретін, пневмоөткізгіш (5) және микрокомпрессорді «КОМПРЕССОР» индикация қосылғышымен (6) қосатын тублер. U-тәрізді ауыспалы бачок (7).

артында жермен тұйықталатын клемма.

Құралға кіретін шыны балон (8) ауамен толтырылған. Баллон (8) сулы U-манометрмен (1) және компрессормен пневмоөткізгіш арқылы қосылған. Баллонда қысым тез өзгергенде қоршаған жүйемен жылу алмасу болмайды. Осының салдарынан (4) клапанды шақандағы процесті адиабаттық деп санауға болады. Компрессор арқылы баллонға ауа үрленеді сосын кран К1 (3) жабылады. Біраз уақыт өткенен кейін баллондағы ауаның температурасы лабораторияның температурасымен теңделеді. Эксперименттің нәтижесі дәл шығу үшін клапанды адиабаттық процестің аяғында жабу керек.

Адиабаттық процес өтетін уақыт аз болғандықтан, манометрдің биіктігіні айырмасы графикалық мәсілмен анықталады.

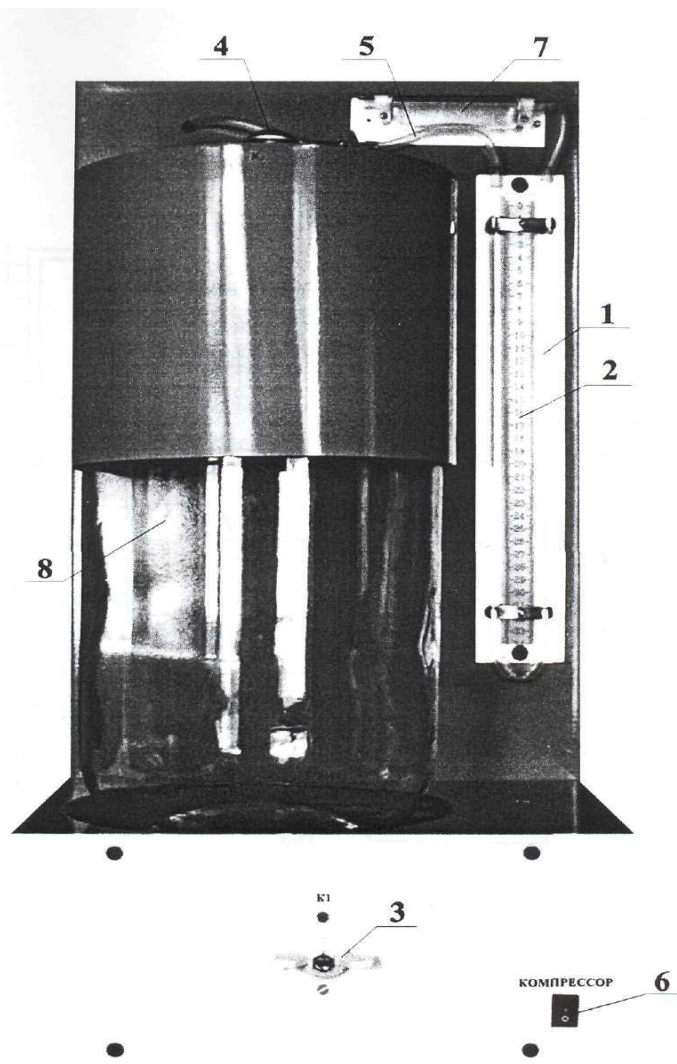


Рис. 1.

28 сурет – Лабораториялық құрал

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Компрессорды электр көзіне қосу керек.
2. Кран К1 ашып манометрдің биіктігінің айырмасы 250 мм жеткенше ауа

үрлеу керек. Кран К1 жауып баллондағы ауаның температурасы қоршаған жүйе температурасымен теңдікке келгенше 2-3 минут күте тұру керек. өткенен кейін (алдағы тәжірибелерде манометрдің бастапқы биіктігінің айырмасы бір қалыпта ұстап отыру керек). Манометрдің биіктігінің айырмасын кестеге жазу керек

3. Клапан К2 жылдам басып балонды атмосферамен қосу керек. Бірден сеундөлшегішті қосу керек. Клапан К2 бір уақыт аралығында ашық қалдыру керек, сосын клапнанды босату керек.

4. 3-4 минут өткенен кейін (манометрдің биіктігінің айырмасын тұрақталғанан кейін, айырма нәтижесін кестеге жазу керек).

5. Тәжірибелерді қайталап (3...5 реттегілерді) клапан К2 - 5, 9, 13, 17, 21, 25,30 секунд ішінде басып. Манометрдің биіктігінің айырмасы Н тұрақты болу керек.

6. Нәтижелерін кестеге жазу керек.

5 кесте – Алынған нәжижелері

өлшемдер №	h_1 мм	h_2 мм,	τ с	Γ

7. Меншікті сыйымдылықтар қатынасын мына формула арқылы анықтау керек:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2},$$

8. γ –дің эксперименттік нәтижесін теориямен салыстыру керек (ауаны екі атомды идеал газдеп санаймыз).

9. Салыстырмалық және абсолюттік қателікті есептеу керек.

Мақсатты өздік тексеру.

Жұмыстың мақсаты орындалғаны, егер эксперимент және кесте арасындағы нәтиже 10% аспаса. Кесте бойынша ауаның тұрақты қысымдағы жылу сыймдылығының тұрақты көлемдегі жылу сыймдылық қатнасы $C_p / C_v=1,4$. Бұлай болмаса қателіктің себебін анықтап жұмысты қайта орындау керек.

Есеп беру түрі:

Жұмысқа есеп беру жалпы түрде, өқытушы бекіткен уақытта беріледі. Есеп бергенде жұмыстың қортындысын дәлелдеп, бақылау және қосымшы сұрақтар жауап дайындап айтып беру керек.

Қорытынды бақылау.

Дұрыс орындалған, өте жақсы қорғалған, бақылау және қосымшы сұрақтарға жауап берілген жұмысқа 3 бал қойылады. Егер жұмыс орындаған

кезде аздап қателіктер болса, бақылау және қосымшы сұрақтарға жауап толық берілмесе онда жұмысқа 2 бал қойылады. Егер жұмыс орындаған кезде қателіктер болса, бақылау және қосымшы сұрақтарға жауап дұрыс берілмесе онда жұмысқа 1бал қойылады.

Егер жұмыс оқытушы бекітілген мерзімнен кейін тапсырылса жұмысқа бал қойылмайды, тек «сынақ» қойылады.

Үй тапсырмасы.

Зертханалық жұмыс жасағандағы талаптары бекіту үшін, физикаға арналған есеп жинақтардан газдың меншікті жылу сыйымдылығын анықтау үшін екі есп шығарып, жұмыстың есеп беруіне бекіту керек.

Бақылау сұрақтары:

1. Термодинамиканың бірінші бастамасын изобаралық, изотермиялық, адиабаталық жазып, түсіндіріп беру керек.
2. Еркін дәреже саны дегеніміз не? Бұл санның C_p , C_v және γ арасындағы байланыс.
3. Қалай және не себептен балонда газдың температурасы өзгереді?
4. Изотерма және адиабата теңдеулерін жазып түсіндіріңдер.
5. PV -диаграммада газда өтетін барлық процестерін сызыңдар.
6. Молдік жылу сыйымдылық қатынасын анықтайтын формуланы шығарыңдар.
7. Температураның лабораторияда тез өзгеруі эксперимент нәтижесіне қалай әсер етеді.
8. Меншікті және мольдік жылу сыйымдылық дегеніміз не?
9. Қай жылу сыйымдылық C_p не болмаса C_v үлкен не себептен?
10. Р.Майер теңдеуін түсіндіріңдер.

Зертханалық жұмыс № 4 Сұйықтардың беттік керілу коэффициентін анықтау

Сабақтың оқу мақсаты: Тамшылау тәсілімен сұйықтың сыртқы керілу коэффициентін анықтау.

Құрал- жабдықтар:

Краны бар бюретка, таразы, су толтырылған ыдыс, тамшыларды жинауға арналған ыдыс, штангенциркуль.

Кіріспе:

Сұйық ішіндегі молекула энергиясына қарағанда, сұйықтың сыртқы қабат молекулаларының потенциалды энергиясы тым көбірек. Әрбір механикалық жүйе сияқты, сұйықтың сырқы қабаты потенциалдық энергияны азайту үшін, тартылады.

Бұл кезде мына жұмыс атқарылады А.

$$A = \sigma \cdot \Delta S$$

мұндағы

σ – пропорционал коэффициенті.

Сыртқы керілу коэффициент өлшем бірлігі, Н/м.

Сыртқы керілу коэффициент

$$\sigma = A / \Delta S ;$$

және

$$\sigma = F / L,$$

мұндағы

F - сыртқы тартылыс күш;

L - сұйықтың сыртқы қабатының шекара ұзындығы.

Сыртқы керілу әртүрлі әдістермен анықталады.

1. Тамшының үзілуі тәсілі:

Ішінде зерттелетін сұйық бар бюреткамен бұл әдіс іске асырылады. Бюретка кранын ашып, одан ақырын тамшылар ағады.

Тамшының түсер алдында оның ауырлық күші

$$P = m_m g$$

сыртқы тартылыс күшіне тең болса, ол бос сыртқы қабат шекарасы тамшы мойының ұзындығына тең болады,

$$F = m_m g, L = \pi d_{T.M}$$

яғни

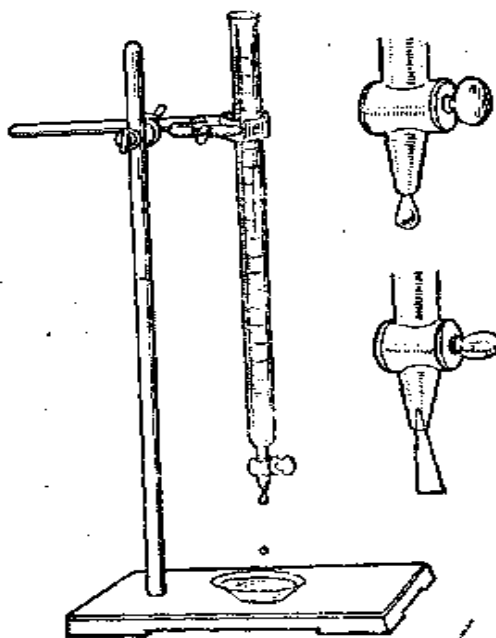
$$d_{T.M} = 0,9 d_\sigma$$

мұндағы

d_σ – бюретка каналының таралу ұшының диаметрі.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Бюретка каналының ұшының диаметрін штангенциркулмен өлшеу керек.
2. Тамшы жинауға арналған бос ыдыстың салмағын өлшеу керек. (29 сурет).
3. Бюретка астына бос ыдыс орнатып, ақырын шүмекті ашып, тамшының балу ағындысын бақылау керек.
4. Бюретка астына өлшеген ыдысты қойып, тамшы жинау керек.
5. Тамшылар жинаған ыдыстың массасын өлшеп, тамшылар массасын анықтау керек.
6. Сыртқы тартылыс коэффициенті формула арқылы анықтау керек.
7. Әдісті 1-3 қайталап, ол үшін тамшылар саны әр түрлі болу керек.
8. Керілу коэффициентінің орташа мәнін табу керек.
9. Өлшеу нәтижелерін бағалау арқылы абсолюттік және салыстырмалы қателіктерді анықтау керек.



29 сурет - Тамшыларды жинауға арналған ыдыс

Бақылау сұрақтары:

1. Егер тәжірибені Жердің басқа басқа бетінде жүргісе тәжірибенің нәтижесі өзгере ме?
2. Егер бюретканың диаметрін азайтса тәжірибенің нәтижесі өзгере ме?
3. Салмақсыз жағдайда тамшының формасы өзгерме?
4. Краннан су тамшылап тұр: Қай кезде судың массасы үлкен: су ыстық кезде ме, әлде су суық кезде ме?
5. Екі ыдыста бірдей мөлшерде су бар. Бірінде таза су, екіншісінде сабынды су: тамшылап өлшеп алған су мөлшерінің көлемдері бірдей ме?

Зертханалық жұмыс № 5 СТОКС тәсілмен сұйықтың тұтқырлық коэффициентін анықтау

Сабақтың оқу мақсаты: Тұтқырлық коэффициентін анықтау.

Құрал- жабдықтар: сұйық құйылған цилиндр пішінді ыдыс, шариктер, штангенциркуль, сызғыш, секундөлшегіш.

Кіріспе

Екі қабат арасындағы әсер ететін ішкі үйкеліс күші (тұтқырлық) олардың түйсіп тұрған ауданына және жылдамдық градиентіне тура пропорционал:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S \quad (1), \quad (120)$$

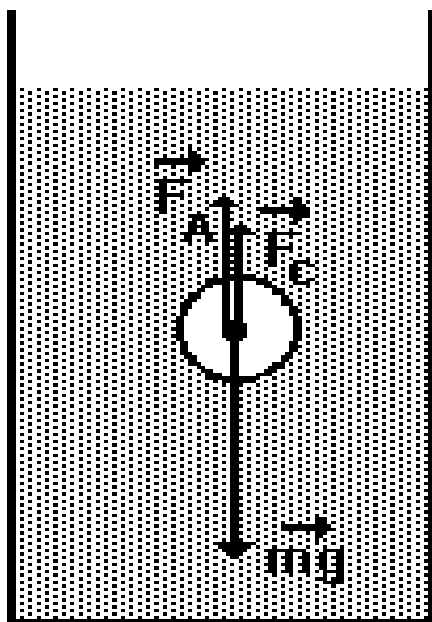
мұндағы

η - ішкі үйкеліс немесе тұтқырлық коэффициент деп аталады.

Егер (1) формулада сан жағынан $S=1$ және $dv/dz = 1$ деп алатын болсақ, онда $\eta = F$, яғни тұтқырлық коэффициент сан жағынан түйсіп тұрған беттің әр бір бірлігінде пайда болатын және бірі-біріне қатысты бірге тең жылдамдық градиентімен қозғалатын кездегі ішкі үйкеліс күшіне тең.

СИ жүйесінде өлшем бірлігі $[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}$.

Сұйықтың тұтқырлық коэффициентін анықтау үшін Стокс тәсілін пайдаланамыз, ол мынада: Сұйықтың ішінде қозғалатын шарикке оның қозғалысын баяулайтын ішкі үйкеліс күші әсер етеді (30 сурет).



30 сурет - Сұйық құйылған цилиндр пішінді ыдыс

Ол Стокс заңы бойынша:

$$F_c = 6\eta\pi r v$$

мұндағы

r – шариктің радиусы;

v – оның жылдамдығы.

Егер сұйық ішінде шарик бос құласа, онда оған ауырлық күш

$$P = mg = \rho Vg$$

және

$$F_A = \rho_1 Vg$$

шарик көлеміндегі сұйық салмағына тең, ығыстырушы күш

мұндағы

V – шарик көлемі;

ρ шарик материалының тығыздығы. ($\rho = 1002 \text{ кг/м}^3$, ρ_0 сұйықтың тығыздығы).

Ньютонның екінші заңы бойынша

$$m(dv/dt) = \rho Vg - \rho_1 Vg - 6\pi\eta r v$$

Бұл теңдеудің шешуі

$$v_0 = \frac{Vg(\rho - \rho_1)}{6\pi\eta r} \quad (121)$$

Сонда

$$L = \frac{Vg(\rho - \rho_1)t}{6\pi\eta r}$$

Шарик жылдамдығын ыдыста екі белгінің арасындағы L қашықтығын және осы қашықтықты шарик өткен уақытты t біле отырып табуға болады $v_0 = L/t$, сонда (2) мынау шығады.

$$t = \frac{9\eta L}{2gr^2(\rho - \rho_1)}$$

Осыдан тұтқырлық коэффициенті η табуға болады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Дәптерге өлшеу нәтижесін жазатын кестені сызу керек.
2. Штангенциркуль көмегімен әр бір шариктің диаметрін d өлшеу керек.
3. L ара қашықтық белгіленіп өлшенеді.
4. Бірінен артынан бірін 3 шарикті сұйық ішіне тастап ,секундөлшегішпен шариктердің L ара қашықтығын өткен уақытын t өлшеу керек. (Ол үшін «тастау» кнопкасын басып,кейін «қосу» кнопкасын басылмаған және басылған күйне келтіру керек. Секунд өлшегіш жұмыс істеуге дайын).
5. Алынған нәтижелерді кестеге жазып оқытушыға көрсету керек.
6. Тұтқырлық коэффициентті мына формуламен есептеу керек

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1)gd^2t}{18L}$$

7. Абсолют және салыстырмалы қателіктерін есептеу.

Бақылау сұрақтары:

1. Қандай тасымалдау құбылыстарын білесіздер. Бұл құбылыстар өткен кезде қандай шамалар тасымалданады?
2. Жылдамдық градиенті дегеніміз не?
3. Сұйық ішінде бір қалыпты қозғалатын шарикке әсер ететін қорытқы күш неге тең?
4. Тұтқырлық дегеніміз не? Тұтқырлық коэффициентінің өлшем бірлігі?
5. Шариктің диаметрі артқан сайын оның жылдамдығы қалай өзгереді?

Зертханалық жұмыс №6

Қатты дененің сызықты ұлғаю коэффициентін анықтау

Сабақтың оқу мақсаты: әртүрлі денелердің сызықтық ұлғаю коэффициентін анықтау.

Құрал- жабдықтар: Сызықтық ұлғаю коэффициентін анықтауға арналған прибор, термометр, штангенциркуль.

Кіріспе

Көптеген денелер температурасын жоғарылатқанда өзінің көлемін ұлғайтады. Алғашқы ұзындығы L болған дененің қыздырған кездегі салыстырмалы ұзындығы dL температураның dt өзгерісіне пропорционал болады

$$\frac{dL}{L} = \alpha dt, \quad (122)$$

мұндағы

α – пропорциональдық коэффициент, ол сызықтық ұлғаюдың шын коэффициенті деп аталады.

Сызықтық ұлғаюдың коэффициенті температураны бір градусқа өзгерішкендегі дененің салыстырмалы ұзарын анықтамайды. Іс жүзінде температураның азғандай өзгерісінде α байқалмайтындағы аз тамаға өзгеруі, сондықтан есептеу үшін сызықтық ұлғаюдың коэффициенті шамасымен қолдануға болады.

$$\alpha = \Delta L / [L_0(t_2 - t_1)], \quad (123)$$

мұндағы

- t_1 - дененің бастанқы температурасы;
- t_2 - дененің соңғы температурасы;
- ΔL – қыздыру кезіндегі стерженнің ұзаруы;
- L_0 – стерженнің ұзындығы.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Пробиркаға жартысына дейін су құю.
2. Судың t_1 температурасын өлмеу және пробирканы қыздырғышқа қою.
3. Стерженнің L_0 ұзындығын өлшеу.
4. Стерженнің жоғарғы үшін индикатордың аяғына түйістіріп қою керек.
5. Индикатордың стрелкасының бастапқы n_1 көрсетуін белгілеу.
6. Қыздырғышты ток көзіне қосу және пробиркадағы суды қайнағанға дейін қыздыру (индикатордың стрелкасы одан әрі қозғалмай қалады). n_2 жағдайды белгілеу. Стерженнің ұзаруын $\Delta L = (n_2 - n_1)0.01$ мм формула бойынша анықтау (индикатор бір бөлігінің құны 0,01 мм).

7. Барометр бойынша Р қысымды анықтау және судың қайнау температурасын

$$t_2 = [100 + 0.0375(p - 760)]C^0.$$

8. (2) формула бойынша сызықтың ұлғаюдың орташа коэффициентін анықтау.

9. Осындай өлшеулерді барлық стержендер жүргізу.

10. Өлшеулердің қателіктерін бағалау.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = 2\sqrt{\left[\frac{\Delta(\Delta L)}{\Delta L}\right]^2 + \left[\frac{\Delta L_0}{L_0}\right]^2 + \left[\frac{\Delta t}{t_2 - t_1}\right]^2} + 4\frac{\Delta t}{t_2 - t_1}$$

мұндығы

ΔL_0 - штангенциркульдің (нониустың) ең кіші бөлігінің құнының жартысы;

$\Delta(\Delta L)$ – индикатордың ең кіші бөлігінің құнының жартысы;

Δt – термометрдің бөлігінің құнының жартысы.

Бақылау сурақтары:

1. α қандай бірліктермен өлшенеді?
2. Пуаның температурасын жоғарылашқан кезде металл маятникі бар сағаттардың жүрісі қалай өзгереді?
3. Денелердің жылулық ұлғаюның молекулалы-кинематикалық теория тұрғысынан қалай түсіндіруге болады?

Зертханалық жұмыс № 7 Нақты газдар қасиеттерін зерттеу

Сабақтың оқу мақсаты

Нақты газдардың қасиеттерін нысанның негізінде және алынған изотермаларын Ван-дер-Ваальс теңдеулерін зерттеу.

Берілген сұрақтар:

1. Ван-дер-Ваальс теңдеуі, оның Менделеев-Клапейрон теңдеуден айырмашлығы.
2. Ван-дер-Ваальс түзетулердің физикалық мағынасы неде?
3. Ван-дер-Ваальс түзетулердің өлшем бірліктері?
4. Кризистік температура дегеніміз не? Бұл терминді кім еңгізген? Бұл ұғым қай шамалар үшін тағы да қолдана алады?
5. Идеал газды сұйықты күйіне ауыстыруға болады ма? Қатты ше?
6. Нақты гады сұйықты күйіне ауыстыруға болады ма? Қатты ше?
7. Бір фазалық күй дегеніміз не? Екі фазалық?
8. Үштік нүкте дегеніміз не?
9. Конденсация дегеніміз не? Буланы?
10. Фазалық ауысулар дегеніміз не?

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Нысанның жазылымы 36 кесте бойынша (31 сурет)

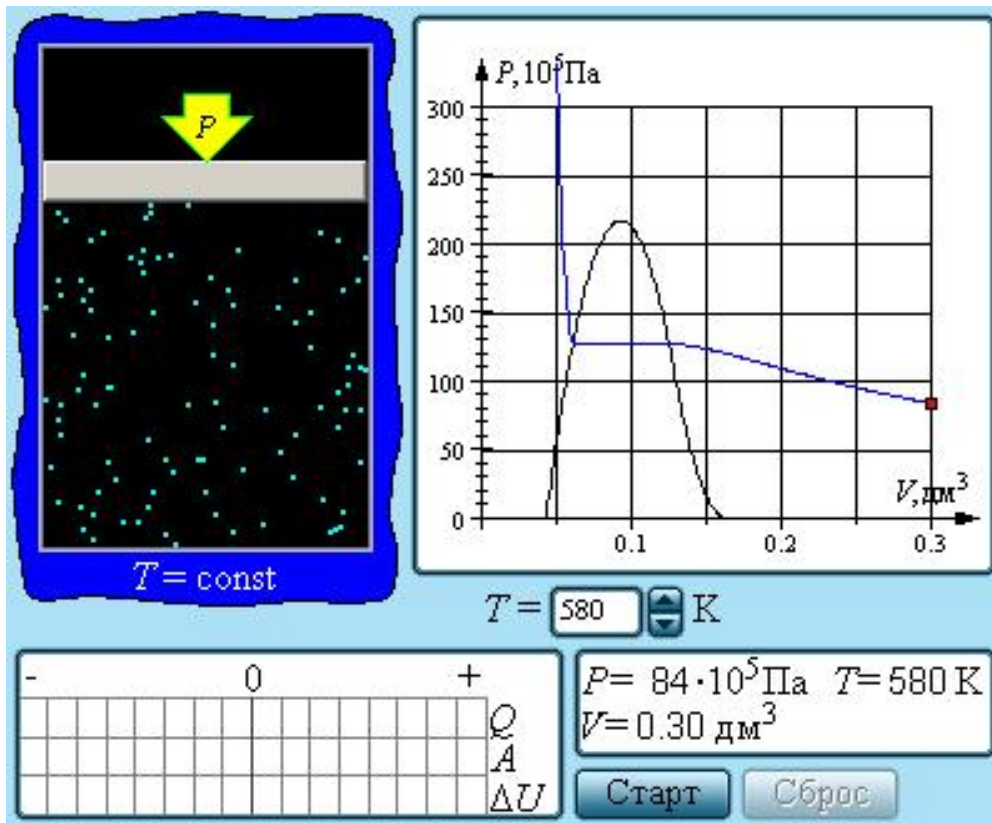
6 кесте – Компьютерлік нысанның жазылымы «Нақты газдың изотермалары»

	Шамалары							
	Берілгендер				Есептелгендер			
Өзгеру шектері								
Өлшем бірліктері								

2. Процесс жасалатын температураны беру керек. 7 кестесінен өз нұсқа бойынша берілгендеді алу керек (журналдағы нөмірі)

7 кесте – Изотермалар жинағын құрастыру үшін газдың әр түрлі температуралары

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Процесстегі температурасы	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605
	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655
	660	665	670	675	680	685	690	695	700	700



31 сурет - Компьютерлік моделі «Изотермы реального газа»

3. Қысқа «Старт»/»Стоп» батырмасын басып көлеммен газдың сәйкес қысымын 8 кестесіне жазу керек

8 кесте – Нақты газдың изотермаларын зерттеу

Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	Температура 1								
Қысым									
Көлем									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	Температура 2								
Қысым									
Көлем									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	Температура 3								
Қысым									
Көлем									

4. Үш әр түрлі температуралар үшін қысымның көлемге тәуелдік графиктерін құрастыру керек (1, 2 және 3 – изотермалар жинақтары) (p,V) осьтерінде.

1. Алынған изотермаларды үзік сызық көмегімен сызып (басқа түспен) әдебиеттегі нақты изотермаларына дейін жеткізу керек.
2. Нысан көмегімен кизистік параметрлерін анықтау керек
3. Алынған белгілі формулалар бойынша су үшін кризистік параметрлерді есептеп, оларды белгілі анықтамалықтадағы сан мәндері мен салыстыру керек. Кестеге еңгізу керек. (Температура в кельвин мен, Қысым – паскальмен, молярлық көлем - м³/моль, тығыздық кг/м³).

9 кесте – Әр түрлі жолад мен алынған күй параметрлерін салыстыру

Су мысалында нақты газдың кризистік параметрлері											
Нысанда алынғандар				Формулалар бойынша есептелген				Кестелік мәндері			
T	P	V	ρ	T	P	V	ρ	T	P	V	ρ

5. Жұмыс бойынша қорытындыны жасау

Үй тапсырмалары

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ есеп	12.4	12.22	12.8	12.23	12.6	13.9	12.24	12.10	12.1	12.13

Бақылау сұрақтары:

1. Неліктен нақты газдардың қасиеттері идеал газдардікінен айырмашылықтары болады? Ван-дер-Ваальс теңдеуі нақты газдардың мінездемесін дәл жазып бере алады ма? Неліктен?
2. Тағы қандай теңдеулер ұсынылған?
3. Ван-дер-Ваальс изотермаларын сызып беріңіз?
4. Нақты газдың изотермаларында сұйықтық, газдық нықты газ күй аймақтарын көрсетіп беріңіз.
5. Аса қайнатылған сұйық дегеніміз не? Аса қаңыққан бу ше? Бұндай күйлер жүзеге асырылады ма? Қай жағдайларында?
6. Ван-дер-Ваальс газ тығыздығы үшін өрнектерді алындар. Бойль температурасы неге тең?
7. Ван-дер Ваальстің газдың кризистік параметрлері үшін өрнектерді жазып беріңіз.

Зертханалық жұмыс № 8 Идеал газ үшін изопроцестерді зерттеу

Сабақтың оқу мақсаты:

Идеал газ үшін ашылған заңдарында идеал газ деп аталатын газ нысанында молекулалардың арасындағы өзараәрекеттесуі және көлемдері ескерілмейді. Осындай газ үшін эмпирикалық түрде заңдары 17-19 ғасырларында ашылды. Тығыздау емес нақта газдар үшін де қолданылады. Берілген жұмыста идеал газ үшін газдың бір термодинамикалық параметрі тұрақты болып қалатын жағдайлары зерттелінеді.

Жұмыстың мазмұны:

Идеал газ үшін изопроцестерді зерттеу және тәуелділік графиктерін сызу.

Жұмысты орындаудың кіріс бақылау сұрақтары:

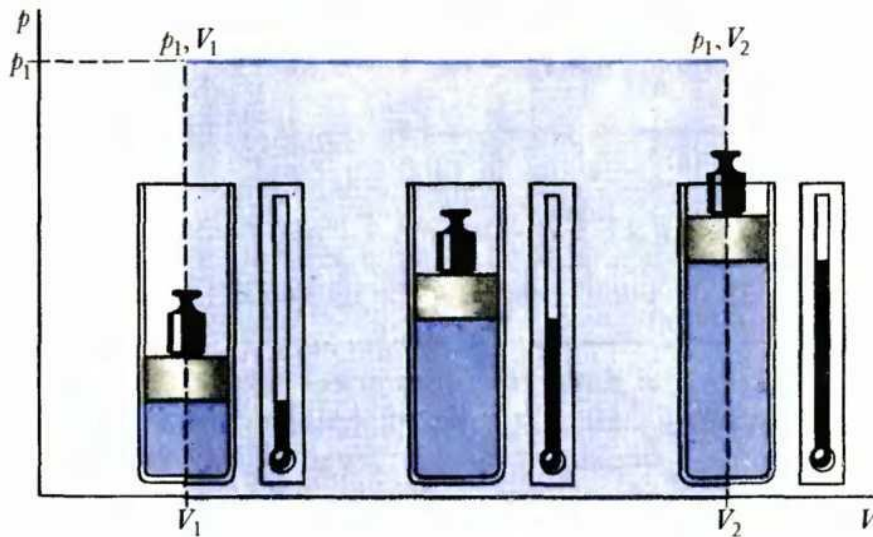
1. Идеал газ ждегеніміз не? Ол нысан нақты газдар үшін қолданады ма?
2. Газ күйі қай параметрлері мен сипатталады?
3. Термодинамикалық процесс дегеніміз не? Квазистатикалық процесс?
4. Орнықты (тепе-тең), орнықты емес (тепе-тең емес) термодинамикалық процестер дегеніміз не?
5. Релаксация уақыты дегеніміз не?
6. Изопроцестер деп қай процестер аталады?
7. Бойль-Мариотт заңын тұжырымдаңдар. Ол қай процесс үшін орындалады? Гей-Люссак ше, Шарль ше?
8. Менделеев-Клапейрон теңдеулерден идеал газ үшін теңдеулерді шығарып көрсетіңіз.

Кіріспе:

Изобаралық процесс - $p = \text{const}$ (сурет 32). $p_1 V_1$ және $p_2 V_2$ нүктелеріндегі газ температуралары күй теңдеулерінен анықталады да мыналарға сәйкес тең $T_1 = p_1 V_1 / R$, $T_2 = p_2 V_2 / R$. Бұл процесс кезінде көлемнің артуымен жүйеге жылу берілуі тиіс, қысымның тұрақтылығын сақтау үшін. Сонда газдың жасаған жұмысы

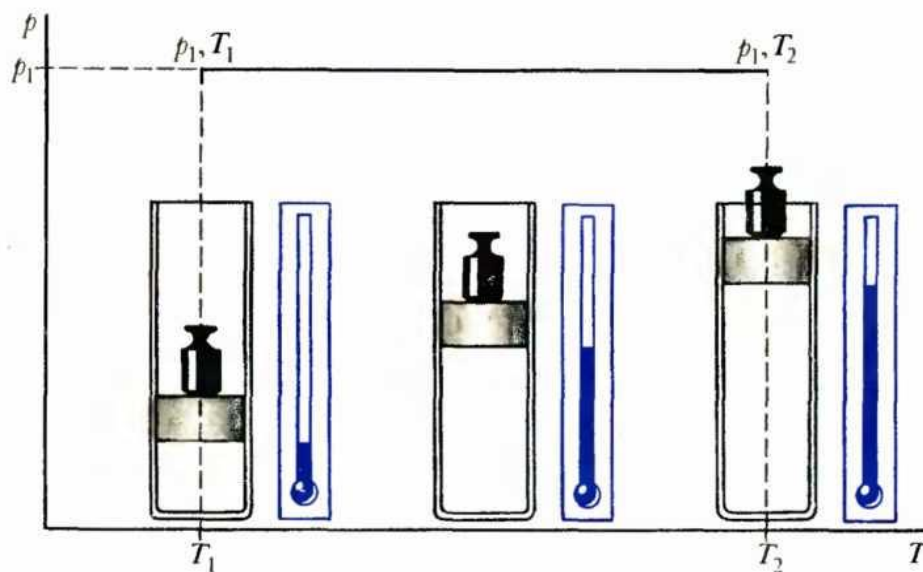
$$A = \int_{(1)}^{(2)} p_1 dV = p_1 (V_2 - V_1). \quad (124)$$

p , V координаттардағы жұмыс процесті кескіндейтін қысықтың астындағы ауданына тең V осьпен бастапқы және соңғы нүктелерден өткізілген абсциссалар арқылы өткізілген. 32 суретте бұл аудан боялған.



32 сурет - (p, V) осьтерінде изобаралық процесс

p, T координаталарда түзу сызыпен де кескінделеді (33 сурет).



33 сурет - (p, T) осьтеріндегі изобаралық процесс

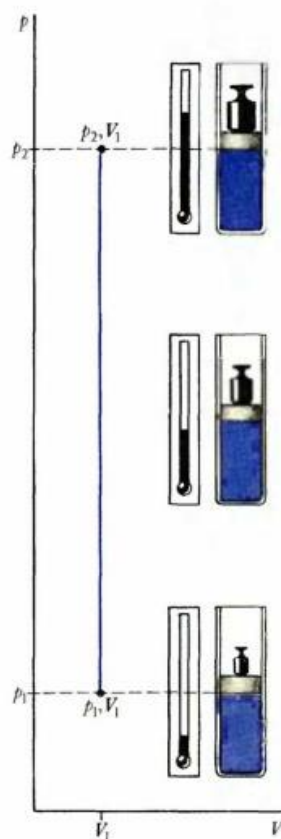
Осы айнымаларында жұмыс үшін өрнек мына түрін алады

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p_1 dV = \int_{(1)}^{(2)} p_1 \frac{R}{p_1} dT = R(T_2 - T_1). \quad (125)$$

Осы екі ұсыныстар бірмағыналы. Бірінен екіншісіне ауысуы күй теңдеуі арқылы жүзеге асырылады. Изохоралық $V = \text{const}$ (34 сурет).

Бұл процесс кезінде жұмыс нөлге тең:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = 0.$$



34 сурет - Изохоралық процесс

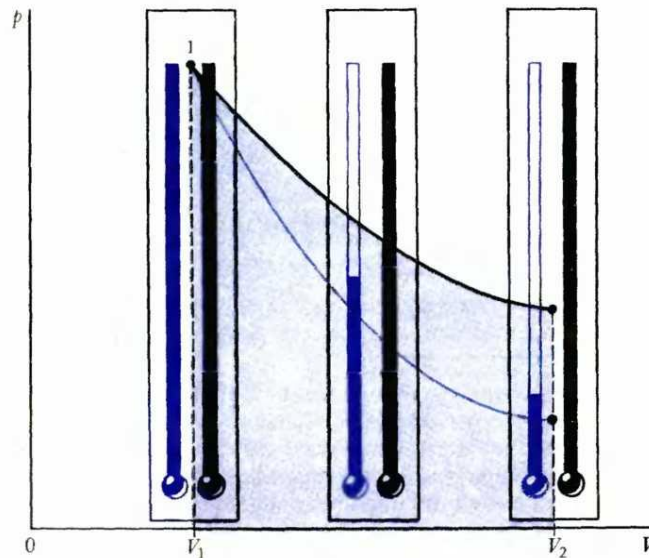
Изотермиялық процесс - $T = \text{const}$ (35 сурет). Жұмыс тең

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (126)$$

Бұл процесс кезінде идеал газдың ішкі энергиясы өзгермейді, өйткені $T = \text{const}$ демек, $dU = 0$.

Сондықтан термодинамиканың бірінші бастамасы $\delta Q = \delta A$.

Бұл изотермиялық процесс кезінде сырттан келген барлық жылу мөлшері жұмыс жасауға жұмсалатындығын білдіреді.



35 сурет - Изотермиялық процесс (қара сызықша) және адиабаталық процесс (көк сызықша)

Адиабаталық процесс –сыртқы ортамен жылу алмасусыз өтетін процесс. Сондықтан термодинамиканың бірінші бастамасы

$$C_V dT + p dV = 0. \quad (127)$$

Түрде беріледі. $dV > 0$ кезінде $dT < 0$. Демек, ұлғаю кезінде жасалған жұмыс оның ішкі энергия есебінен жасалатындығын білдіреді және $dT > 0$ при $dV < 0$, газдың жасаған жұмысы оның ішкі энергия және температура артуына әкеп соғады. Адиабата өрнегі — адиабаталық процесс кезінде параметрлерді байланыстыратын теңдік. Оны Пуассон теңдеуі деп атайды. Оны шығаруға болады.

Идеал газдар үшін:

$$T = pV / (C_p - C_V), \quad (128)$$

мұнда Майер теңдеуі қолданылған $R = C_p - C_V$. (5) теңдеуін $C_V T$ ге бөліп тастаса, табамыз

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0, \quad (129)$$

мұндағы

$\gamma = C_p / C_V$ — адиабата көрсеткіші.

Интегралдап, сонан соң теңдеуді потенциал адиабата теңдеуін T , V параметрлер арқылы мына түрде аламыз:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const.} \quad (130)$$

p , V айнымаларға көшкенде (8) ден қысқартып күй теңдеу көмегімен $T=pV/R$. аламыз

$$pV^{\gamma} = \text{const.} \quad (131)$$

Дәл осылай,

$$Tp^{1-\gamma} = \text{const.} \quad (132)$$

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad C_p = \frac{i+2}{2} R. \quad \text{ге сәйкес аламыз } \gamma=(i+2)/i.$$

Сондықтан бір атомды газдар үшін идеалданған шартын қанағаттандыратын $i=3$ және $\gamma=1,66$. Ол тәжірибеде жақсы дәлелденеді. Мысалы, гелий үшін $\gamma=1,66$. Екі атомды газдар үшін, тек қана айналмалы еркіндік дәрежелері қоздырылғандықтан $i=5$ және, демек, $\gamma=1,40$. Ол да экспериментпен дәлелденеді. Мысалы оттегі, азот, ауа үшін $\gamma=1,40$, алсутегі үшін $\gamma=1,41$. Адиабаталық процесс кезіндегі газ жұмыс. Жұмыстың жалпы формуласында

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = p_1 V_1^{\gamma} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\gamma}} = \frac{p_1 V_1^{\gamma}}{1-\gamma} (V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}) = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right], \quad (133)$$

$$\text{Мұндағы } p_1 V_1 = RT_1$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = T_2/T_1,$$

(133) өрнекті түрлендіріп келесі түрге келтіреміз

$$A = R(T_1 - T_2)/(\gamma - 1). \quad (134)$$

Адиабаталық процесс политропты процестің дербес жағдайы болып табылады. Политропа теңдеуі. Жылусыйымдылық C тұрақты болу қажеттілігінен термодинамиканың бірінші бастамасының түрі мынадай болу қажет

$$C dT = C_V dT + p dV. \quad (135)$$

Түрлендірген соң

$$\frac{dT}{T} + \frac{C_p - C_v}{C_v - C} \frac{dV}{V} = 0, \quad (136)$$

(136), интегралдар аламыз

$$TV^{n-1} = \text{const}, \quad (137)$$

мұндағы

$$(C_p - C_v)/(C_v - C) = n - 1.$$

Бұл T, V айнымаларындағы политропа теңдеуі. Одан T шығарсақ $T = pV/R$, теңдеу көмегімен мынаны аламыз

$$pV^n = \text{const}, \quad (138)$$

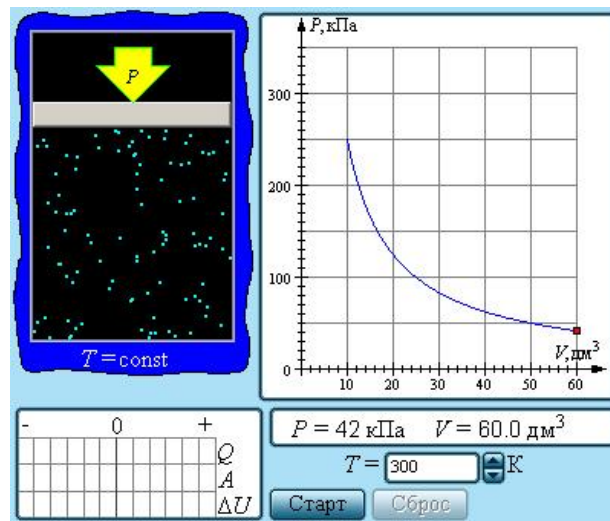
Мұндағы $n = (C - C_p)/(C - C_v)$ - политропа көрсеткіші.

$C = 0$, кезінде (136) ден адиабата теңдеуін аламыз. $C = \infty$ (шексіздік), $n = 1$ — изотерма теңдеуі, $C = C_p$, $n = 0$ кезінде - изобара теңдеуі, $C = C_v$, $n = +(-) \infty$ — изохора теңдеуі.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1 Тапсырма Изотермиялық процесті зерттеу (36 сурет)

1. Изотермиялық процесс үшін политропа теңдеуі қалай шығады?
2. Компьютерлік нысанын зерттеу
3. Тұрақты температураның сан мәнін кестеден алу керек (10 кесте).



36 сурет – Изотермиялық процесс оқыту үшін компьютерлік моделі

10 кесте – Температураның саны

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура газа	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295
	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345

4. Қысқа уақыт мерзімінде «Старт»/»Стоп» кнопоксын баса отырып газ көлемінің температура мен сан мәндерін жазып отыру керек (кесте 11).

11 кесте – Температураның параметрі

Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	1 Температура								
ҚЫСЫМ									
КӨЛЕМ									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	2 Температура								
Давление									
Объём									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура	3 Температура								
Давление									
Объём									
Орташа температурасы									
Газ жұмысы									

5. Қысымның көлемге тәуелділік графиктерін сызу керек (1, 2 және 3 – температурасы үшін изотермлар семействосын (бірнеше изотермасын) (p, V) осінде, сонымен бірге (p, T) немесе (V, T) осьтерінде де алуға болады

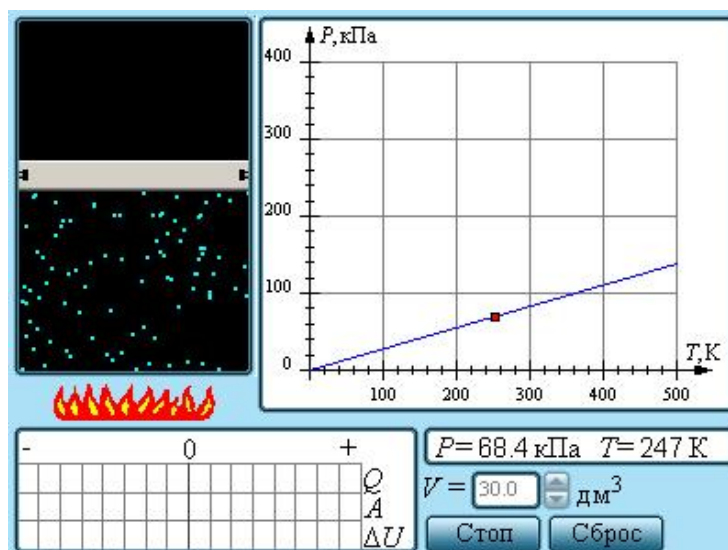
6. Температураның орташа арифметикалық сан мәніне сәйкес келетін газ жұмысын есептеу керек. Көлемнің максимал және минимал мәнін және екінші рет қысымының максимал және минимал мәндерін алып алынған нәтижелерін салыстыру керек.

7. Қисық сызықтың орналасуына сәйкес газ температурасына тәуелділігі туралы қорытындысын жасау керек.

2 Тапсырма Изохоралық процесс

1. Изохоралық процесс үшін политропа теңдеуі қалай қорытылады?

2. Нысанның жазылуы



37 сурет - Изотермиялық процесс оқыту үшін компьютерлік моделі

1. Кестедегі келтірілген көлемінің сан мәндерін алу керек (12 кесте).

12 кесте Көлемнің саны

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газ көлемі	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5
	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5
	30,0	30,5	31,0	31,5	32,0	32,5	33,0	33,5	34,0	34,5

2. «Старт»/«Стоп» кнопкасын қысқа уақыт мерзімінде баса отырып, қысым мен температураның мәндерін алу керек және нәтижелерін кестеге еңгізу керек (13 кесте).

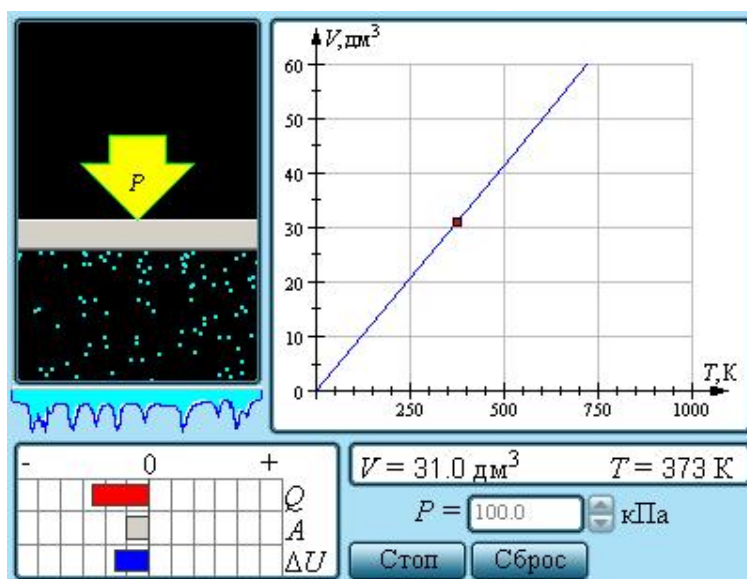
13 кесте - Көлемнің параметрі

Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Көлем	Көлем 1								
қысым									
Температура									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
көлем	көлем 2								
қысым									
Температура									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
көлем	көлем 3								
қысым									
Температура									
Орташа көлем									
Газ жұмыс									

1. Қысымның температураға тәуелділігін көлемінің үш әр түрлі тұрақты мәндеріне сәйкес келтіріп графиктерін құрастыру керек (p, T) осінде, сонымен бірге (p, V) және (V, T) осьтерінде
2. Газ жұмысын есептеу керек
3. Графиктер бойынша қорытындысын жасау керек

Тапсырма 3 Изобаралық процесс

1. Политропты процестің теңдеуінен изобаралық процесс үшін теңдеу алу керек?
2. Компьютерлік моделі жазу керек.



38 сурет - Изобаралық процесті зерттеу үшін компьютерлік нысан

3. 8 кестеден берілген газ қысым мәндерін алып, бірінші тәжірибе үшін бірінші сан алынады (14 кесте).

14 кесте – Газ қысымның сандары

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газ қысымы	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
	100	105	110	115	120	125	130	135	50	55
	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105

4. «Старт»/«Стоп» кнопоксын қысқа уақыт мерзімінде баса отырып 9 әр түрлі көлемімен температураның мәндерін аламыз (15 кесте).

15 кесте – Қысым параметрі

Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Қысым 1								
Көлем									
Температура									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Қысым 2								
Көлем									
Температура									
Параметр/№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Қысым 3								
Көлем									
Температура									
Среднее давление									
Работа газа									

5. Көлемнің температура тәуелділігін (V, T) осьтерінде, сонымен бірге (p, V), (p, T) осьтерінде де салу керек

6. Қысымның орташа арифметикалық сан мәнін алып, газ жұмысын табу керек. Ол үшін көлемінің ең үлкен және ең минимал сан мәндерін алу керек. Для этого используйте екінші есептеу үшін). Нәтижелерді салыстырындар.

7. Қысымның бастапқы мәніне тәуелді Графиктің орналасуы бойынша қорытынды жасау керек

Бақылау сұрақтары:

1. Термодинамиканың бірінші бастамасын тұжырымдандар.
2. Изопроцестер үшін термодинамиканың 1-ші бастамасын жазып беріңіз.
3. Изотермиялық және изобаралаық процестер үшін жұмыстың формуласын шығару керек.
4. Изохорлық процесс кезінде жұмыс неге тең? Неліктен?
5. Қай изопроцесте газдың жұмысы максимал?
6. (p, V), (p, T), (V, T) координаталарда изопроцестерді сызып беріңіз
7. Жылу сыйымдылық дегеніміз не, оның түрлері?
8. Роберта Майер теңдеуін шығарып беріңіз.
9. Адиабаталық процесс кезінде газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді? Ол қай жерде қолданылады?
10. Пуассон теңдеуін қорытып шығару керек.

Қосымша А

Есеп беру бетінің үлгісі

Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті

АТИ

Физика кафедрасы

ЕСЕП БЕРУ

Зертханалық жұмыстың нөмірі және тақырыбы көрсетіледі.

	Уақыт	Қолы
Рұқсат		
Өлшеу		
Есептеу		
Сынақ		

Орындаған: студенттің Т.А.Ж., топтың нөмірі.

Зертханалық жұмысқа тек сызықпен белгілеген бөліктер енгізіледі

Қостанай, 2020

Қолданылған әдебиеттер тізімі

- 1 Савельев И.В. Жалпы физика курсы.- Алматы: Мектеп, 1977.- Т. 1. – 448 б.
- 2 Абдулаев Ж. Физика курсы.- Алматы: Білім, 1994. Б. 106-107.
- 3 Ахметов А.Қ. Физика.– Алматы: Ы.Алтынсарин атындағы Қазақтың білім академиясының Республикалық баспа кабинеті, 2000. Б. 89-93.
- 4 Фриш С.Э., Тиморева А.В. Физика курсы.- Алматы: Мектеп, 1970.-Т. 2. Б. 183-197.
- 5 Н.Қойшыбаев, А.О. Шарықбаев Физика.- Алматы: Мектеп, 1970.- Т. 1. – 198 б.
- 6 Волькенштейн В.С. Жалпы физика курсының есептер жинағы бас. 7-ші.- Москва: Наука, 1976. – 486 б.
- 7 Арызханов Б. Физика.- Алматы: Мектеп, 1987. – 224 б.
- 8 Трофимова Т.И. Курс физики.–Москва: Высшая школа, 2001. – 498 б.
- 9 Жұбанов М. Физиканың негізгі заңдары.–Алматы: Мектеп, 1989. – 362 б.
- 10 Авторлар ұжымы. Инженерлік мамандығы студенттері үшін жалпы физика курсы бойынша зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар.- Қостанай: А. Байтұрсынұлы атындағы ҚМУ, 2007. - 128 б.
- 11 Открытая физика 2.6. Часть 1. - Режим доступа: <http://www//physics.ru>. 10.09.2010
- 12 Физика в колледже. – Режим доступа: <http://college.ru/fizika>. 16.11.2014

