



**ФИЗИКАЛЫК
ПРАКТИКУМ**

**МОЛЕКУЛАЛЫК
ФИЗИКА**

Ош - 2008

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН
БИЛИМ БЕРҮҮ ЖАНА ИЛИМ МИНИСТРЛИГИ
ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИ**

Физикалык практикум
Молекулалык физика

Университеттердин физика, математика, информатика
жана инженердик-техникалык адистиктеринин
студенттери үчүн окуу колдонмосу

Ош - 2008

УДК 539.1
ББК 22.36
Ф50

Ош Мамлекеттик Университетинин Окумуштуулар Кеңешинин чечими менен басмага сунушталган.

Рецензент - ОшМУнун жалпы физика жана физиканы окутуу методикасы кафедрасынын улук окутуучусу М. Жуманова

Түзүүчүлөр: Ж. Эгембердиев, П. Кожобекова, Ж. Мамасадыкова

Ф50 Физикалык практикум. Молекулалык физика: Унив-дин физика, математика, информатика жана инженердик-техн. адист. студ. үчүн окуу колдонмосу. Түзгөндөр Ж. Эгембердиев, П. Кожобекова, Ж. Мамасадыкова. - ОшМУ: «Билим» редакциялык басма бөлүмү, 2008. - 196 б.

ISBN 978-9967-03-411-2

Окуу колдонмосунда жалпы физика курсунун молекулалык физика бөлүмүнүн окуу программасына ылайык түзүлгөн 19, анын ичинде 3 виртуалдык лабораториялык иштин баяндамасы берилген.

Ар бир баяндама студенттерди аткарылуучу иштин максаты, жабдылышы, заттардын изилденүүчү касиеттеринин молекулалык-кинетикалык көз караштардын негизинде түшүндүрүлүшү, ишти аткаруунун усулу, тартиби, алынган натыйжаларды баалоо жана тиешелүү тыянак чыгаруу жолдору менен тааныштырат.

Ф 1604090000-08
ISBN 978-9967-03-411-2

УДК 539.1
ББК 22.36
© ОшМУ, 2008

МАЗМУНУ

Сөз башы	6
I. УСУЛДУК КЕҢЕШТЕР	8
1.1 Лабораториялык иштерди аткарууну уюштуруу	8
1.2 Коопсуздук техникасынын эрежелери	10
1.3 Тажрыйбалардын натыйжаларын эсептөө жана иштин отчетун даярдоо	11
1.4 Заттардын механикалык жана жылуулук касиеттерин мүнөздөгөн чоңдуктарды өлчөө	11
1.5 Молекулалык физикада колдонулуучу приборлор	14
II. ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ИШТЕРДИН БАЯНДАМАЛАРЫ	18
2.1 Абанын абсолюттук жана салыштырма нымдуулуктарын аныктоо	18
2.2 Абанын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгын аныктоо	26
2.3 Абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугун жана эффективдүү диаметрин аныктоо	36
2.4 Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын аныктоо	44
2.5 Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын үндүн абада таралуу ылдамдыгы боюнча аныктоо	57
2.6 Суюктуктардын беттик тартылуу коэффициентин аныктоо.....	64
2.7 Суюктуктардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоо	74
2.8 Суюктуктун ички сүрүлүү (илешимдүүлүк) коэффициентин Стокстун усулу менен аныктоо	79
2.9 Бууга айлануунун салыштырма жылуулугун аныктоо	86
2.10 Катуу телолордун жылуулуктан кеңейүүлөрүнүн термикалык коэффициентин аныктоо	90
2.11 Суюктуктардын көлөмдүк кеңейүүсүнүн термикалык коэффициентин аныктоо	97
2.12 Катуу телолордун жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин аныктоо	102
2.13 Катуу заттардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоо	109
2.14 Металлдардын эрүү температурасын жана салыштырма эрүү жылуулугун аныктоо	121

- 2.15 Металлдарды ысытканда жана эриткенде анын энтропиясынын өзгөрүшүн аныктоо131
- 2.16 Больцман турактуусунун сандык маанисин аныктоо136

III. КОМПЬЮТЕРДИК МОДЕЛДЕРДИН ЖАРДАМЫНДА АТКАРЫЛУУЧУ ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ИШТЕР142

- 3.1 Изотермалык процессти окуп үйрөнүү146
- 3.2 Изохоралык процессти окуп үйрөнүү155
- 3.3 Изобаралык процессти окуп үйрөнүү162

АДАБИЯТТАР170

ТИРКЕМЕ171

- T.1 Температуралык шкалалар171
- T.2 1968-жылы кабыл алынган Эл аралык практикалык температуралык шкаланын (МПТШ- 68) таяныч чекиттери173
- T.3 Эл аралык температуралык шкаланын негизги турактуу чекиттери174
- T.4 Эл аралык практикалык температуралык шкаланын кошумча репердик чекиттери175
- T.5 Физикалык турактуулар176
- T.6 Заттардын тыгыздыгы177
- T.7 Жердин бетинен түрдүү g бийиктиктердеги (стандарттык) атмосферанын басымы P 177
- T.8 Жердин атмосферасынын химиялык курамы178
- T.9 Газдардын молекулаларынын кыймылынын ылдамдыктары $P = 101325 \text{ Па}$ 179
- T.10 Газдын молекулаларынын түрдүү басымдардагы концентрациясы $(= 27^\circ \text{C})$ 179
- T.11 Атомдордун жана молекулалардын массалары180
- T.12 Газдын молекулаларынын диаметрлери181
- T.13 Абадагы же суудагы айрым бөлүкчөлөрдүн өлчөмдөрү (диаметрлери)181
- T.14 Айрым газдардын салыштырма молекулалык (молдук) массасы μ_c 182
- T.15 Айрым эки атомдуу молекулалардагы атомдордун (ядролордун) ортосундагы аралыктар r_0 182
- T.16 Абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу183
- T.17 Газдын молекулаларынын кагылышууларынын жыштыгы183
- T.18 Суюктуктардын беттик тартылуусу183

T.19	Түрдүү (t) температуралардагы суунун аба менен чектешкен бетиндеги тартылуу коэффициенттери (σ)	184
T.20	Суюктуктардын түрдүү температуралардагы динамикалык илешимдүүлүктөрү	184
T.21	Металлдардын жана куймалардын сызыктуу кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенттери	185
T.22	Суюктуктардын көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенттери ($t=20^{\circ}C$)	185
T.23	Суунун көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенттери	186
T.24	Газдардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктары	186
T.25	Суюктуктардын, суюк жана катуу абалдагы металлдардын, катуу заттардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктары	187
T.26	Таза металлдардын жана айрым куймалардын түрдүү температуралардагы жылуулук өткөрүмдүүлүктөрү	188
T.27	Түрдүү заттардын жана элементтердин эрүү температуралары, эрүүнүн салыштырма жылуулуктары	189
T.28	Түрдүү заттардын нормалдуу атмосфералык басымдагы кайноо температуралары жана бууга айланууларынын салыштырма жылуулуктары	189
T.29	Түрдүү температуралардагы каныккан суу буусунун басымы жана тыгыздыгы	190
T.30	Психрометрдик таблица	191
T.31	М.В.Ломоносов атындагы Москва Мамлекеттик Университетинин (Россия) Жалпы физика кафедрасында даярдалып видеого (DVD ге) түшүрүлгөн физикалык лекциялык демонстрациялар. Молекулалык физика	192

*Устат агайларыбыз В.П.Черненконун
жана Б.Аллахуновдун жаркын элестерине
арнайбыз*

СӨЗ БАШЫ

Физика адистигинин, инженердик-техникалык адистиктердин мамлекеттик стандарттарында, окуу пландарында жана программаларында физикалык практикумга – лабораториялык практикалык иштерди аткарууга өзгөчө маани берилген, анткени теориялык жана практикалык сабактар оптималдуу айкалышканда гана адис даярдоонун жогорку сапатына жетишүүгө болоору талашсыз. Илимий-техникалык прогресстин, жаңы маалымат технологияларынын жетишкендиктери адамзаттын күндөлүк тиричилигинин дээрлик бардык тармактарына сүнгүп кирип, тез жайылып баратышы да лабораториялык практикалык ык-машыгуулардын жаш муундарды тарбиялоодогу ролун жогорулатат.

Сунуш кылынып жаткан колдонмо ОшМУнун жалпы физика жана физиканы окутуу усулу кафедрасынын молекулалык физика лабораториясында коюлган жана көп жылдык текшерүүдөн өткөн лабораториялык иштердин негизинде даярдалды. Колдонмонун өзөгүн В.П.Черненконун «Лабораторные работы по молекулярной физике и термодинамике» (Ош, 1989г.) жана Б.А.Аллахуновдун «Молекулярдык физикадан практикум» (Ош, 1997ж.) аттуу кыргыз тилиндеги алгачкы окуу колдонмолорунан, «Физикон» ЖЧКнун «Открытая физика, 2.5» (Москва, 2002г.) компьютердик окутуучу программаларынан, А.С.Еноховичтин «Справочник по физике» (Москва, 1990г.) аттуу китебинен алынган материалдар түздү.

Колдонмодо молекулалык физика боюнча лабораториялык иштерди аткарууга карата айрым усулдук кеңештер, кадимки жана виртуалдык (компьютердик) лабораториялык иштердин баяндамалары, заттардын физикалык касиеттерин чагылдырган таблицалык маалыматтарды камтыган тиркеме берилген. Баяндамаларда ар бир лабораториялык иштин максаты, аны аткарууга керектүү каражаттар көрсөтүлгөн, тапшырмалар жана аларды аткаруу усулу, тартиби, ошондой эле билимди текшерүү үчүн суроолор берилген. Иштин баяндамасындагы кыскача теориялык материалдар жана колдонмонун аягында көрсөтүлгөн адабияттар менен таанышуу студенттин лабораториялык сабактарга өз алдынча даярдануусуна жардам берет.

Молекулалык физика боюнча коюлган лабораториялык иштер күндөлүк турмуш-тиричиликте кеңири колдонулуучу жөнөкөй

куралдардын жана приборлордун жардамында аткарууга ылайыкташтырылган. Ар кандай татаал технологиялык процесстерди үйрөнүүнү жана башкарууну автоматташтырууга, эксперименттин жүрүшүн каттоо жана маалыматтарды эсептеп анализдөө үчүн компьютердик технологияларды колдонууга аракеттер күчөп жаткан кезде лабораториялык иштерди коюуга жана аткарууга болгон мындай мамиле кандайдыр бир жетишпестик, кемчилик катары да каралышы мүмкүн. Бирок, илимий техникалык прогресстин акыркы жетишкендиктерине таянган курулмалардын азырынча өтө кымбаттыгын, биздин өлкөдө чыгарылбагандыгын, жана, эң негизгиси, лабораториялык сабактарда студенттер заттардын түрдүү физикалык касиеттерин изилдөөнүн усулдарын, пайдаланылган куралдардын иштөө принцибин, түрлөрүн, өлчөө тактыгын кошо өздөштүрүшү зарыл экендигин эске алсак мындай мамиленин усулдук артыкчылыктарын да байкоого болот.

Колдонмодо молекулалык физика боюнча лабораториялык иштерди аткарууда колдонулуучу жөнөкөй куралдардын айрым түрлөрүнүн түзүлүшү, иштөө принциби жана кээ бир мүнөздөмөлөрү тууралуу кыскача маалымат да берилди. Бул маалыматтар тааныштыруучу, болочок физика мугалимдерине физикалык приборлордун татаал дүйнөсүнө багыт берүүчү максатты көздөйт. Аларды билүү тигил же бул маселелерди чечүүгө ылайыктуу куралды аң-сезимдүү тандап алууга, коопсуздук техникасынын эрежелерин сактоого, берилген шарттарда энергияны жана убакытты сарамжалдуу пайдаланууга көмөк көрсөтөт деп ишенебиз.

Колдонмонун кол жазмасын тыкан карап чыгып, баалуу кеңештерин айтышкан кесиптештерибизге терең ыраазычылык билдиребиз жана анын сапатын жогорулатууга багытталган окурмандардын сын-пикирилерин күтөбүз.

Түзүүчүлөр.

I. УСУЛДУК КЕҢЕШТЕР

1.1 Лабораториялык иштерди аткарууну уюштуруу

Лабораториялык иштерди аткаруу – заттардын түрдүү физикалык касиеттерин өз алдынча изилдөө, табиятта жана күндөлүк турмушта кездешүүчү көптөгөн кубулуштарды жөнөкөйлөштүрүп окуп үйрөнүү, теориялык билимди текшерип бекемдөө, кесиптик чеберчилигин калыптандыруу багытындагы студенттердин көп кырдуу иш аракеттеринин эң маанилүү этабы болуп эсептелет. Ошондуктан аны даярдап аткарууга, жүрүп жаткан процессти максаттуу башкарууга, өлчөөлөрдүн жүрүшүндө орун алуучу каталыктарды азайтууга, коопсуздук техникасынын эрежелеринин сакталышына өзгөчө көңүл буруу зарыл.

Лабораториялык иштер, адатта, эки студенттен турган топ тарабынан лабораториянын шартына жараша алдын ала түзүлгөн график боюнча аткарылат. Топтун мүчөлөрү кезектеги лабораториялык ишке аны аткаруудан бир нече күн алдың даярдана башташы керек. Алдын-ала даярдык тиешелүү иштин баяндамасын, анда көрсөтүлгөн кошумча окуу адабияттарындагы керектүү маалыматтарды, колдонулуучу куралдардын паспортторун (көрсөтмөлөрүн) терең өздөштүрүүнү талап кылат. Даярдыктын жүрүшүндө топтун мүчөлөрү аткарылуучу иштин максатын, аны чечүүнүн ар түрдүү усулдарын, колдонулуучу физикалык приборлордун, курулмалардын түзүлүшүн жана иштөө принцибин, ишти аткаруунун тартибин так, даана түшүнүүгө аракет жасашы керек.

Физикалык тажрыйбаларды жүргүзүүнүн үлгүсү катарында М. В. Ломоносов атындагы Москва мамлекеттик университетинин (Россия) жалпы физика кафедрасында даярдалып видеокассетага (DVD-дискке) түшүрүлгөн молекулалык физика боюнча лекциялык демонстрациялардын тизмеси колдонмонун аягында кошо берилди. Лабораториялык сабактарга даярданып жаткан мезгилде тиешелүү демонстрациялык эксперименттер менен таанышуу (препаратордук бөлмөдө же виртуалдык физикалык практикум лабораториясында) изилденүүчү кубулуштарды терең түшүнүүгө, студенттердин ишти аткаруу чеберчилигин өнүктүрүүгө өбөлгө түзөт деген ишеничтебиз.

Сабактын башталышында топтун мүчөлөрүнө аткарылуучу ишке тиешелүү курулманын, анын айрым бөлүктөрүнүн абалы менен түздөн-түз таанышуу, алардын коюлган маселени чечүүгө жарамдуулугун текшерүү, тандап алынган усулга ылайык экспериментти «ой жүзүндө»

жүргүзүү сунуш кылынат. Мындай аракеттер өзгөчө көңүл бурулуучу жагдайларды аныктап алууга, тажрыйбанын жүрүшүн каттоочу атайын дептерге (черновикке) керектүү таблицаны даярдап, ага белгилүү маалыматтарды жазып алууга, ар бир айрым жана жалпы эксперименттин узактыгын болжолдуу аныктоого жардам берет.

Даярдык негизинен сабакка чейин жүргүзүлүп, сабактын башталышында ага азыраак (10-15 минутадан ашпаган) убакыт короткон максатка ылайыктуу. Анткени айрым, мисалы, заттардын ысышына, муздашына, жылуулук тең салмактуулуктун орношуна байланышкан эксперименттер узак убакытка созулат. Мындай эксперименттерди бир нече ирет кайталап, алынган натыйжаларды эсептөө, алардан бир маанилүү тыянак чыгаруу жалпысынан узак убакытты талап кылат. Ошондуктан, иш туура уюштурулбаса, аны сабак учурунда толук аткарып бүтүрө албай, сабактан тышкары мезгилде кайрадан иштөөгө же графиктен артта калууга туура келет. Кийинки сабакта бул ишти башка топ аткаарын эсиңерден чыгарбагыла.

Жогоруда саналган даярдыктар толук аткарылып, окутуучу же лаборанттын уруксатын алгандан кийин гана тажрыйбаны аткарууга киришүүгө болот.

«Тажрыйбаны бир нече (3-5) жолу аткаргыла» дегенди механикалык түрдө кабыл албагыла. Ар бир тажрыйбаны акыл-эс, чыгармачылык менен максаттуу түрдө жүргүзүүгө аракеттенгиле. Экинчи (жана кийинки) тажрыйбаны баштоодон мурда, алдыңкы тажрыйбанын жыйынтыгын баалоого - изилденүүчү чоңдуктун маанисин эсептеп, аны ал чоңдуктун күтүлүүчү (таблицалык) мааниси менен салыштырууга үлгүрүү керек. Эгерде маанилери бири-биринен бир кыйла айырмаланышса, анда тажрыйбанын жүрүшүн анализдеп, жогорудагы айырмачылыктын келип чыгышына себепкер факторлорду аныктоого жана азайтууга аракет кылгыла, кийинки тажрыйбаларды жумушчу формула алынган шарттарга ылайык улантууга аракеттенгиле. Туура эмес жүргүзүлгөн тажрыйбадан алынган маалыматтарды таблицага кошпогула жана эсептөөлөргө пайдаланбагыла. Силердин ар бир тажрыйбаны пландаштыруу, аны жүргүзүү жана башкаруу чеберчилигиңер өзүнчө бааланарын эсиңерден чыгарбагыла.

Тажрыйбалардын натыйжаларын окутуучуга же лаборантка көрсөтүп, текшертенден кийин жумуш ордуңарды иреттеп баштапкы абалына келтиргиле. Электр энергиясынын эсебинен иштеген приборлорду өчүрүп, ток булагынан ажыраткыла да иштин жыйынтыгын чыгарууга киришкиле.

1.2 Коопсуздук техникасынын эрежелери

Көпчүлүк иштерди аткарууда электр энергиясын пайдаланып иштөөчү приборлорду (электр ысыткычтары, автотрансформатор, осциллограф, үн генератору, вакуум насосу, электр таразасы ж.б.) колдонууга туура келет. Алар айрым учурларда электр тогунан жабырлануу коркунучунун булагы болуп калышы мүмкүн. Анткени адамдын денеси электр тогун жакшы өткөрөт жана электрдик чыңалууда турган курулманын изоляцияланбаган ачык элементтерине тийип кеткен кезде, ал аркылуу ток өтүп терини күйгүзүшү же адамдын жүрөк, дем алуу жана нерв системасына оор зыян келтириши мүмкүн. Ошондуктан ар бир лабораториялык ишти аткарып жатканда студенттер электр тогунан жабырлануу мүмкүнчүлүгүн эстен чыгарбай, коопсуздук техникасынын эрежелерин сактоолору зарыл.

- Электрдик приборлорду колдоноордон алдың алардын ачкычтары (тумблери) өчүрүлгөн (ажыратылган), потенциометрлеринин бурагычтары сол тарапка толук буралган абалда экендигин текшерип алгыла.
- Приборлорду ток булагына (же розеткага) туташтыруучу электр өткөргүчтөрүнүн (зымдардын) «бүтүндүгүнө», электр контакттарынын бекемдигине, ишеничтүүлүгүнө өзгөчө көңүл бургула.
- Электр ысыткычтар өтө кубаттуу болсо, ал тез ысып, өрт коопсуздугу туулат, кубаттуулугу аз болсо жай ысытып, убакыттан уттурабыз. Ысыткычтын үстүнө коюлган идиштин (колба, тигель ж.б.) түбү анын ысытуучу бетин тегиз, толук жаппаса бөлмөнү кошо ысытып пайдасыз чыгым көбөйөт. Ошондуктан, мүмкүнчүлүк бар жерлерде, куралдарды керектөөгө жараша оптималдуу тандоого аракет кылгыла.
- Сууну же башка суюктуктарды ысытуу үчүн колдонулган айнек идиштер (колбалар, стакандар ж.б.) ысыкка чыдамдуу материалдан жасалган болушу зарыл. Резина түтүктөрү бүктөлбөшүнө көз салгыла.
- Катуу ысытылган нерселерди (айнек, металл идиштери, резина түтүгү, металл буюмдары ж.б.) колунар менен кармабагыла, лабораториялык столдун үстүнө койбогула. Ал үчүн кездеме туткучтарды, жип илгичтерди, жыгач же картон тактайларды пайдалангыла.
- Сымап термометрлерин этият пайдалангыла. Сымаптын буусу дем алуу органдарын күчтүү ууландыраарын эсиңерден чыгарбагыла.
- Эфирди же башка жеңил буулануучу заттарды көпчүлүк отурган бөлмөдө колдонбогула. Гигрометрди желдетүүгө оңой жерге (мисалы, коридорго) алып чыгып иштегиле.
- Ишти аткарып жатканда шеригиңердин аракетине көзөмөл жасап,

коопсуздук эрежелеринин сакталышына жардамдашкыла. Иштеп жаткан приборлорду жана курулмаларды кароосуз таштабагыла.

- Вакуумдук насосту иштетип жатканда анын кыймылдагы бөлүгүнө колуңарды же башка предметтерди жакындатпагыла.

1.3 Тажрыйбалардын натыйжаларын эсептөө жана иштин отчетун даярдоо

Ар бир студент өлчөөлөрдөн алынган маалыматтарды формулаларга коюп, өз алдынча эсептөөлөрдү жүргүзөт жана аткарылган иштин жыйынтыгы тууралуу отчет даярдайт.

Отчет төмөнкүдөй бөлүмдөрдү камтышы зарыл:

1. Лабораториялык иштин катар номери жана толук аталышы
2. Иштин максаты
3. Колдонулган приборлор, курулмалар жана каражаттар
4. Тапшырмалар жана аларды аткаруунун усулдары
5. Өлчөөлөрдүн жана эсептөөлөрдүн натыйжалары (таблицаалар, графиктер)
6. Аткарылган иш боюнча тыянактар

Графиктерди масштабдуу (миллиметрдик) кагазга калем менен чийүү керек. Лабораториялык ишти аткарууда алынган эксперименталдык маалыматтардын негизинде аларды теориялык көз-караштан түшүндүрүүнү камтыган кыскача тыянактар жасалат.

1.4 Заттардын механикалык жана жылуулук касиеттерин мүнөздөгөн чоңдуктарды өлчөө

- Нерселердин сызыктуу өлчөмдөрүн, мисалы, эки чекиттин арасындагы аралыкты өлчөө (ченөө) үчүн узундуктун жөнөкөй жумушчу чени болгон *сызгычты* пайдаланабыз. Сызгыч узундуктун эталонуна ылайыкташтырылып мм, см лерге бөлүнгөн шкалага ээ. Ал убакыттын өтүшү менен өзүнүн касиетин өтө аз өзгөртүүчү (же дээрлик өзгөртпөөчү) катуу материалдан, мисалы, металлдан жасалышы керек. Жыгачтан, айрыкча пластмассадан жасалган сызгычтар кургаганда бир кыйла кыскарып кетишет. Сызгычтын жана обьекттин жылуулуктан кеңейишерин да эске алуу зарыл (Алар бирдей материалдан жасалышса гана буга көңүл бурбай коюуга болот). Узундуктун *рулетка*, бычмачынын метри сыктуу жумшак, ийилгич ченемдери да кеңири колдонулат. Бул приборлордун тактыгы анчалык жогору эмес.

Нониустуу приборлордо, мисалы, штангенциркулда, ченөөнүн

жогорку тактыгына жетишүүгө болот. *Нониус* деп аталган жардамчы шкала негизги шкаланын бөлүктөрүнүн үлүшүн бир кыйла так аныктоого мүмкүндүк берет. *Нониустун бир бөлүгүнүн баасы (наркы) негизги шкаланын бир бөлүгүнүн баасын нониустун бөлүктөрүнүн санына бөлгөнгө барабар*. Мисалы, негизги шкаланын бир бөлүгүнүн баасы $\sigma = 1\text{мм}$, ал эми нониустагы бөлүктөрдүн жалпы саны 20 болсо, анда нониустун 1 бөлүгүнүн баасы $\delta = \frac{1\text{мм}}{20} = 0,05\text{мм}$ ге барабар.

Нерсенин сызыктуу өлчөмүн ченөө үчүн аны штангенциркулдун кысуучу «буттарынын» арасына тыгыз жайгаштырышат да, негизги шкаладан бүтүн бөлүктөрдүн санын, ал эми нониустан анын калган үлүшүн аныкташат. Мисалы, негизги шкаланын нөлдүк сызыгынан нониустун нөлдүк сызыгына чейинки негизги шкаладагы бүтүн бөлүктөрдүн саны N , ал эми нониустун негизги шкаланын кайсы бир сызыгы менен дал келген сызыгына чейинки бөлүктөрүнүн саны n болсун дейли. Негизги шкаланын бөлүгүнүн баасы σ , нониустун бир бөлүгүнүн баасы δ болсо, анда нерсенин узундугу $\ell = N\sigma + n\delta$ га барабар. Нерсенин ички бөлүгүнүн сызыктуу өлчөмүн ченөө үчүн ал бөлүктү штангенциркулдун «буттарынын» учтарына керип жайгаштыруу керек. Бул учурда өлчөөнүн натыйжасы жогорудагыдай жол менен аныкталган ℓ ге штангенциркулдун буттарынын нерсени керүүчү бөлүгүнүн калыңдыгын кошуу аркылуу аныкталат (адатта ал аралык штангенциркулдун өзүндө жазылган болот).

Прибордун негизги шкаласынын бөлүгүнүн үлүшүн аныктоонун башка бир жолу *микрометрде* колдонулган. Мында бурама (винт) менен барабандын чогуу кыймылы пайдаланылат. Окко кийгизилген көңдөйлүү барабанды айландырганда ага бириктирилген бурама буралып жылып, өлчөнүүчү нерсени кысат. Негизги шкаладан бүтүн (же жарым) миллиметрлер аныкталат, ал эми анын үлүшү барабандагы шкаладан табылат. Барабандын бир толук айлануусу бураманын бир кадамга (бир сайга) - негизги шкаланын бир бөлүгүнө жылышына алып келет. Демек, бураманы барабандагы шкала боюнча 1 бөлүккө оңго же солго буроо негизги шкаланын бир бөлүгүнүн баасын барабандагы бөлүктөрдүн санына бөлгөнчөлүк аралыкка жылдырат. Мисалы, негизги шкаланын бир бөлүгүнүн баасы $\delta = 0,5\text{мм}$, барабанда 50 бөлүк болсо, анда барабанды 1 бөлүккө буруу $0,5 : 50 = 0,01\text{мм}$ жылышка туура келет.

Микрометр штангенциркулга караганда тагыраак, бирок ал эреже катары, анча чоң эмес деталдарды гана өлчөй алат. Анын өлчөө диапозонун кеңейтүү үчүн узундугу так белгилүү болгон стержендерди кошумча колдонушат. Микрометрдин тактыгы анын бурама сайларынын жасалыш тактыгынан көз каранды. Деталь өтө катуу

кысылбаш үчүн барабанды фрикциондон кармап бурашат. Деталды кыскан күч белгилүү (стандарттык) деңгээлге жеткенде фрикцион бошоп («чыкылдаган» үн чыгат), барабан менен бураманы ээрчитпей калат.

Кыска аралыктарды өлчөөнүн тактыгын андан ары жогорулатуу үчүн оптикалык методдорду колдонушат (оптиметр, ченөөчү микроскоп, проектор, компаратор ж.б.). Молекулалык физика боюнча лабораториялык иштерди аткарууда штангенциркулдун жана микрометрдин өлчөө тактыгын жетишээрлик деп саноого болот.

- Суюктуктун көлөмү *мензурка* жана ченем идиштеринин жардамында аныкталат. Суюктуктун өтө кичине көлөмүн өлчөө үчүн даражаланган пипетканы – *бюретканы* колдонушат.

Суюктук же газ түтүк аркылуу тынымсыз агып жаткан учурда анын *чыгымдалышын*, б.а. түтүктүн берилген кесилиши аркылуу убакыт бирдигинде агып өткөн заттын көлөмүн өлчөө зарыл болот. Бул маселени түрдүү конструкциядагы чыгым өлчөгүчтөрдүн (расходомер) жардамында чечишет.

- Убакыт интервалдары механикалык же электрондук секундомердин, таймерлердин же сааттардын жардамында аныкталат. Лабораториялык практикада убакыттын кыска аралыгын өлчөө үчүн адатта *осциллографтарды* пайдаланышат.

- Кичинекей которулуштар (өтө кичине жылышуулар, деформациялар, идиштеги суюктуктун деңгээлинин өзгөрүшү ж.б.) эсептөө системасына бекитилген ар түрдүү датчиктердин жардамында катталат. Мисалы, катуу заттарды ысытканда алардын узарышы лабораториянын шартында механикалык датчиктин – *микрометрдик винттин* жардамында аныкталат.

- Күчтү (F) негизинен анын аракетинен нерсенин деформацияланышы (x) боюнча өлчөшөт: $F = |kx|$. Деформациялануучу нерсе катары көпчүлүк учурда пружинаны (*динамометр*) алышат. Динамометр канчалык чоң күчтү өлчөөгө арналса, анын пружинасы ошончолук катуу болушу зарыл. Деформация пружинанын учуна бекитилген жебинин көрсөтүүсү боюнча түздөн-түз же кичине жылышууну өлчөөчү каалаган башка методдордун жардамында аныкталышы мүмкүн.

Оордук күчүнүн (Жердин тартуу күчүнүн) эсебинен нерсенин таянычка же асмага аракет эткен күчүн (салмагын) өлчөөчү прибор *таараза* деп аталат. Аларды диапозонуна жараша транспорттук - автомашиналарды, вагондорду тартуу үчүн (5 – 200 T), товардык жана медициналык (1 – 100 кг), техникалык (10 мг – 1 кг), аналитикалык

(0,1 мг – 100 г), жана микроаналитикалык (< 0,1 мг) деп классификациялоого болот.

Иштөө принциби боюнча таразларды рычагдуу, пружиналуу тензомердик деп бөлүшөт.

Жүктү *рычагдуу таразада* тартып (б.а. жүктүн жана тараза ташынын жерге тартылуу күчтөрүн өз ара салыштырып) жатып, биз алардын массаларын да салыштырабыз, анткени, эгерде $F_1 = F_2$ болсо, анда $m_1 g = m_2 g$ жана $m_1 = m_2$. Ошондуктан таразанын таштарына алардын салмагынын (ньютондор аркылуу туюнтулган) ордуна массаларын (кг, г, ж.б.) жазышат.

Пружиналуу таразлар массаны түздөн-түз өлчөбөйт, алар нерсенин салмагын $P = F = kx$ аныкташат. Бул таразанын жардамында нерсенин массасын аныктоо үчүн ошол жердеги g нын маанисин билүү

керек: $m = \frac{kx}{g}$; g өзгөргөн учурда (Жердин башка чекитине

которулганда, башка планетада ж.б.) массанын бирдиктеринде даражаланган пружиналуу таразларды кайрадан даражалоо зарыл, ал эми рычагдуу таразларды кайрадан даражалоонун кереги жок.

- Катуу заттардын тыгыздыгын адатта $\rho = \frac{m}{V}$ формуласын пайдаланып эсептешет же гидростатикалык тартуу жолу менен аныкташат.

- Суюктуктардын тыгыздыгын тыгыздык ченегичтердин (плотномерлер - *пикнометр, гидростатикалык тараза, ареометр* ж.б.) жардамында өлчөшөт. Спирттин суудагы концентрациясынын бирдиктеринде даражаланган ареометр - спиртометр, сүттүн майлуулугунун проценттеринде даражаланганы – лактометр деген ат менен белгилүү.

1.5 Молекулалык физикада колдонулуучу приборлор

- Жогорулатылган (ашыкча) басым түзүүчү насостор *компрессорлор*, ал эми сейректетүүчү насостор – *вакуумдук насостор* деп аталышат.

Насостордун негизги параметрлери болуп *ал түзө ала турган басым жана анын өндүрүмдүүлүгү*, б.а. 1 секундада (минутада) кирүүчү түтүктөн чыгуучу түтүккө өткөргөн литрлердин (кубометрлердин) саны эсептелет.

Лабораториялык иштерди аткарууда, адатта, Комовскийдин насосу же электрдик май насосу колдонулат. Изилденүүчү идишти

насосун кайсы түтүгүнө (кирүү же чыгуу) туташтырганыбызга жараша идиштеги абанын басымын жогорулатууга да, төмөндөтүүгө да болот.

- Басымды өлчөөчү куралдар *манометрлер* деп аталышат. Алардын өтө көп түрлөрү белгилүү. Манометрлер иштөө принцибине жараша же басымдардын айырмасын же абсолюттук маанисин өлчөшөт. Абанын басымын өлчөөгө ылайыкташтырылган абсолюттук деформациялык (мембраналык же сильфондук) манометр *барометр-анероид* деп аталат.

Жердин бетинен жогору көтөрүлгөн сайын абанын басымы азайып баргандыктан абсолюттук манометрди бийиктикти аныктоо үчүн да колдонууга болот. Ушул максатка ылайыкташтырылып бийиктиктин метрлери (километрлери) аркылуу даражаланган барометр-анероид *альтиметр* деп аталат.

Суюктуктуу U – сымал манометрлердин иштөөсү газдын өлчөнүүчү басымы менен суюктуктун (сымаптын, суунун, спирттин ж.б.) мамычасынын басымынын өз ара теңдешүүсүнө негизделген. Басым $P = \rho gh$ формуласы боюнча аныкталат. Белгилүү басымда суюктуктун мамычасынын бийиктиги (h) ошол жердеги эркин түшүүнүн ылдамдануусуна жараша болорун белгилей кетүү зарыл. Мындай манометрлерди дайым эле паскалдарда даражалай беришпейт, көпчүлүк учурда басымды андагы суюктуктун мамычасынын бийиктигинин бирдиктеринде өлчөө бир топ ыңгайлуу – *мм.сым.(суу) мамычасы* ($1\text{мм.сым.мам.}=133,3\text{Па}$, $1\text{мм.суу мам.}=9,8\text{Па}$).

- *Электр ысыткычы* катары чынжырдын каршылыгы чоң болгон бөлүгү колдонулат. Андан ток өткөндө чоң өлчөмдөгү жылуулук бөлүнүп чыгат: $Q = I^2 R t$. Ысыткычты даярдоо үчүн салыштырма каршылыгы чоң болгон өткөргүчтөрдү (жогорку температураларда абада начар кычкылдануучу (окистенүүчү) нихром жана башка куймалар) колдонууга болот. Нихром зымы абада 1100°C га чейин, ал эми башка куймалар 1200°C га чейин эрибей ысышы мүмкүн.

Берилген чыңалууда ысыткычтын каршылыгы канчалык аз болсо анын кубаттуулугу ошончолук жогору болот: $P = \frac{U^2}{R}$. Мисалы, спираль

канчалык кыска жана жоон зымдан жасалса, ал ошончолук чоң кубаттуулукка ээ болуп, көп ток керектейт.

Электрдик ысыткычтардын температурасын автотрансформаторлордун же реостаттардын жардамында жеңил эле жөнгө салууга болот.

- Төмөнкү температураларды алуу жана бул температураларда иштөө үчүн кызмат кылган аппаратуралар *криогендик техника* деген жалпы атка ээ.

Муздак суюк газдарды Дьюардын идиштеринде (термостордо) сакташат.

- Температураны өлчөөчү прибор *термометр* деп аталат. *Контакттык жана контактсыз термометрлер* белгилүү.

Контакттык термометрлерди изилденүүчү нерсеге тийгизишет (контакт түзүшөт). Жылуулук тең салмактуулугу орногон кезде термометрдин температурасы изилденүүчү нерсенин температурасына барабарланат. Бирок, термометр өзүнүн температурасын көрсөтөрүн жана эгерде нерсе менен контакт начар болсо бир кыйла чоң каталык кетириши мүмкүн экендигин эске тутуу зарыл. Термометрдин жылуулук сыйымдуулугу изилденүүчү нерсенин жылуулук сыйымдуулугунан өтө кичине болгону жакшы.

Контакттык термометрде температураны өлчөө үчүн заттын же түзүлүштүн температурадан көз каранды болгон ар кандай касиети колдонулушу мүмкүн. Мындай касиеттер өтө көп болгондуктан аларга негизделген термометрлердин түрлөрү да өтө көп.

Дилатометрдик термометрде нерсенин сызыктуу өлчөмдөрүнүн же заттын көлөмүнүн температурадан көз карандылыгы колдонулат.

Суюктук термометри төмөнкү учу суюктуктун негизги массасы жайгашкан шарчага уланган ичке айнек капилляры түрүндө жасалат. Ысып кеңейгенде суюктук капиллярга кирип, анын белгилүү бөлүгүн толтурат (мында суюктуктун жана айнектин кеңейүүлөрүнүн температуралык коэффициенттеринин айырмачылыгы пайдаланылат).

Суюктук термометринде сымап же спирт колдонулат. Сымап температурасы төмөндөп, -39°C ге жеткенде тоңот, ал эми айнек $500 \div 600^{\circ}\text{C}$ га ысыганда жумшарат. Сымап термометрлеринин жумушчу диапозону ушулар менен чектелет. Спирт термометрлери -80 ден $+70^{\circ}\text{C}$ га чейинки диапозондогу температураларды өлчөө үчүн колдонулат ($t = -114^{\circ}\text{C}$ де спирт тоңот, ал эми жогорку $t \approx 78^{\circ}\text{C}$ де - кайнайт).

Термометрлер бири-биринен сезгичтиги боюнча айырмаланышат. Айталы, шарчанын көлөмү $V_{ш}$, капиллярдын радиусу r , ал эми капиллярдагы суюктуктун мамычасынын бийиктиги h болсун. Анда термометрдеги суюктуктун көлөмү төмөнкүдөй аныкталат:

$$V_{ш} + \pi r^2 h = V_{ш} (1 + \beta t)$$

мында β - суюктуктун көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенти. Мындан термометрдин сезгичтигин (шкаланын 1°C ине туура келген миллиметрлерин) тапсак

$$\frac{dh}{dt} = \frac{V_{ш} \beta}{\pi r^2}$$

Спирттин көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенти β сымаптыкына караганда 6 эсе чоң, ошондуктан спирт термометринин

сезгичтиги да тиешелүү түрдө жогору. Шарчанын көлөмү канчалык чоң жана капилляр канчалык ичке болсо берилген суюктуктун сезгичтиги ошончолук жогору болот. Бирок капиллярдын ичкериши өлчөөлөрдүн диапазонун кошо кыскартат.

Температуранын анча чоң эмес интервалын, мисалы 180 ден 200°C га чейин, өлчөө үчүн *кыскартылган термометрди* колдонушат. Ал шарчасы термометрдик суюктук менен толо толтурулбаган ичке капилляр түрүндө болот. “Кыскартылган” деген сөз ал ошол эле сезгичтиктеги 0 дөн 200°C га чейин өлчөөчү термометрден 20 эсе кыска дегенди билдирет.

Температуранын жетишээрлик кичине диапазонунда өлчөөлөрдү жүргүзүү үчүн мындай термометрлердин тобун, мисалы 0 дөн 20°C га, 20 дан 40°C га чейин, ж.б.д.у.с., даярдап алышат.

Өлчөө бүткөндөн кийин термометрдин муздаганына карабастан сымаптын деңгээли төмөндөбөй сакталып калыш керек болсо (мисалы, медициналык термометр - градусникте) *максималдык термометрди* колдонушат. Мындай термометрдин шарчасы капилляр менен андан ичке (кууш) капилляр аркылуу туташат. Термометр ысыганда сымап бул кууш жылчык аркылуу кысылып капиллярга өтөт, ал эми муздаганда сымаптын мамычасы ушул жерден үзүлөт – шарчага кайтпастан максималдык температураны көрсөтүп кала берет. Аны шарчага кайтаруу үчүн термометрди катуу силкүү керек.

Термометр катары температуранын түрдүү физика-химиялык индикаторлорун – белгилүү температураларда өзүнүн абалдарын өзгөртүүчү (эрүүчү, кайноочу, түсүн өзгөртүүчү ж.б.) заттарды да колдонушат.

Булардан сырткары электрдик термометрлер – *каршылык термометрлери* жана *термопаралар* да кеңири колдонулат. Жогорку, пределдик температураларда термопаралар тез “эскирип”, иштен чыгат. Жылуулуктун ташылышын азайтуу үчүн термопараны мүмкүн болушунча ичке зымдардан жасашат.

- Нерсенин жуткан же бөлүп чыгарган жылуулук санын өлчөө үчүн *калориметрлер* кызмат кылышат. Калориметрлер – жылуулук өткөрбөөчү “дубалдары” бар (адиабаттык кабыкчага ээ), көпчүлүк учурда кайсы бир калориметрдик суюктук толтурулган идиш.
- Газдардын нымдуулугун өлчөөчү приборлор *гигрометрлер* же *психрометрлер* деп аталат.
- Заттардын илешимдүүлүгүн (ички сүрүлүү коэффициентин) өлчөө үчүн *вискозиметрлерди* колдонушат.

II. ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ИШТЕРДИН БАЯНДАМАЛАРЫ

2.1 АБАНЫН АБСОЛЮТТУК ЖАНА САЛЫШТЫРМА НЫМДУУЛУКТАРЫН АНЫКТОО

Иштин максаты: абанын нымдуулугун аныктоо үчүн колдонулуучу куралдардын - гигрометрдин жана психрометрдин түзүлүшүн жана иштөө принцибин үйрөнүү. Алардын жардамында бөлмөдөгү абанын абсолюттук жана салыштырма нымдуулуктарын аныктоо, колдонулган методдордун өзгөчөлүктөрүн баалоо.

Иштин жабдылышы: гигрометр, психрометр, барометр, термометр, эфир, суунун каныккан буусунун басымынын температурадан көз карандылыгынын таблицасы, психрометрдик таблица.

Иштин кыскача теориясы

Жерди курчап турган аба - аралашма газ. Ал азот (болжол менен 78%), кычкылтек (21%), көмүр кычкыл газы, суу буусу ж.б. газдардан турат (Т.8-таблицаны кара). Абада суу буусунун болушу океандардын, деңиздердин, көлдөрдүн, дарыялардын, жашыл дарак жана чөптөрдүн тынымсыз буулануулары менен шартталган. Абадагы суу буусунун өлчөмү жана каныгуу даражасы *нымдуулук* аркылуу мүнөздөлөт, ал суу бууланганда көбөйүп, жана, тескерисинче, буу конденсацияланганда азайып, өзгөрүп турат. Суу буулары каныккан жана каныкпаган абалдарда болушу мүмкүн. Каныккан абалдагы буулар өзүнүн суюктугу менен динамикалык тең салмактуулукта болушат, б.а. бирдик убакыттын ичинде суюктуктун бетинен бууланган молекулалардын саны ошол эле убакытта конденсацияланган молекулалардын санына барабар. Каныкпаган абалда беттен бууланган молекулалардын саны ага кайтып келген молекулалардан көптүк кылат.

Абанын нымдуулугун аныктоонун өндүрүштүн көп тармактары, айыл чарбасы жана адамдын күндөлүк турмуш-тиричилиги үчүн мааниси зор. Мисалы, адамдын денесинен суюктуктун буулануу интенсивдүүлүгү абанын нымдуулугуна байланыштуу болот. Буулануу процесси адамдын денесинин температурасы бирдей сакталып туруусу үчүн чон мааниге ээ. Космостук кемелерде абанын температурасы жана басымы менен бирге адам үчүн зарыл болгон салыштырма нымдуулук да нормада (40-60%) болушу зарыл. Нымдуулукту аныктоонун метеорологияда аба-ырайын алдын-ала айтуу үчүн да ролу чоң.

Абанын нымдуулугунун даражасын мүнөздөш үчүн бири-бири менен байланышкан *абсолюттук нымдуулук, максималдык нымдуулук, салыштырма нымдуулук, «шүүдүрүм чекити»* түшүнүктөрү колдонулат.

Дальтондун закону боюнча *аралашма газдын басымы аны түзгөн газдардын үлүштүк басымдарынын суммасына барабар*. Демек, атмосфералык басым абадагы бардык газдардын басымдарынын суммасынан турат, анда абадагы суу бууларынын да үлүшү бар.

Абсолюттук нымдуулук деп абадагы суу буусунун үлүштүк басымын айтабыз. Абсолюттук нымдуулук үчүн көлөмү 1 м³ болгон абадагы суу буусунун граммдар менен эсептелген массасын да алууга болот. Бирок «абсолюттук нымдуулук» түшүнүгү абанын нымдуулугун толук мүнөздөй албайт. Себеби абанын нымдуу же кургак болушу андагы суу буусунун үлүштүк басымына (же массасына) гана көз каранды болбостон, температурасына да көз каранды. Мисалы, абадагы суу буусунун үлүштүк басымдары бирдей, бирок температуралары түрдүүчө болгон эки бөлмөдөгү абаны өз ара салыштырсак, анда температурасы жогору болгон бөлмөдөгү аба кургак сезилет. Бул фактыны молекулалык-кинетикалык теориянын негизги

$$P = knT$$

теңдемесин пайдаланып түшүндүрүүгө болот: абадагы суу буусунун үлүштүк басымынын берилген маанисинде анын молекулаларынын концентрациясы n абанын абсолюттук температурасына тескери пропорциялаш болот.

Абанын нымдуулугун так мүнөздөш үчүн «*салыштырма нымдуулук*» түшүнүгү колдонулат. *Салыштырма нымдуулук деп абадагы суу буусунун берилген температурадагы үлүштүк басымынын (P_a абсолюттук нымдуулуктун), ушул эле температурада абаны каныктыруу үчүн керек болгон суу буусунун үлүштүк басымына (P_m максималдык нымдуулукка) болгон катышын айтабыз:*

$$B = \frac{P_a}{P_m} .$$

Каныкпаган суу буусунун үлүштүк басымы $P_a < P_m$, ал эми суу буусу каныккан кезде $P_a = P_m$, ошондуктан $0 \leq B \leq 1$ болот. Салыштырма нымдуулукту % аркылуу туюнтуу ыңгайлуу:

$$B = \frac{P_a}{P_m} 100\% . \tag{2.1.1}$$

Мына ошентип, салыштырма нымдуулук абадагы суу буусунун каныгуу даражасын мүнөздөйт.

Абсолюттук нымдуулук $\frac{z}{M^3}$, мм. сым. мам. же бар. (bar) менен туюнтулат. СИ системасында басымдын бирдиги Па, анда $1\text{Па} = 1\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{мм. сым. мам.} = 10^{-5} \text{бар}$. болот.

Абадагы суу буусунун үлүштүк басымын түздөн-түз өлчөй албайбыз, аны кыйыр жол менен гана аныктоого болот. Идеалдуу газдын закондорун каныккан буу үчүн колдонууга болбойт, мисалы, каныккан буу үчүн Бойль-Мариоттун закону аткарылбайт. Анткени, турактуу температурада каныккан буунун басымы анын көлөмүнө көз каранды эмес.

Каныккан буунун басымы температурага көз каранды. Бул көз карандылык суунун каныккан буусу үчүн так изилденген жана атайын таблицада берилген (Т.29-таблица).

Ошентип, абадагы суу буусунун каныккан же каныкпаган абалда болушу абанын температурасына көз каранды. Суу буусу каныкканда тамчыга айланат, б. а. «шүүдүрүм түшөт». Абадагы суу буусун каныктыруу үчүн анын температурасын төмөндөтүү керек. Мисалы, күздүн суук күндөрү шүүдүрүмдүн түшүшү абадагы суу буусунун каныгуусу менен түшүндүрүлөт. Бул шартты канааттандыруучу температура “шүүдүрүм чекити” деп аталат.

Бөлмөдөгү абанын аз өлчөмдөгү жука катмары муздатылганда, андагы суу буусунун басымы сезилээрлик өзгөрбөйт. Ошондуктан абадагы каныкпаган суу буусунун басымы анын муздатылган жука катмарындагы каныккан буусунун басымына барабар деп алууга болот. Гигрометрдин жардамында абанын нымдуулугун аныктоо мына ушуга негизделген. Бул куралдын жардамында абанын кичине жука катмары андагы суу буусу каныкканга, б.а. шүүдүрүм түшкөнгө чейин муздатылат. Муздатылган аба катмарынын температурасын өлчөп, тиркемедеги Т.29-таблица боюнча ал температурадагы каныккан буунун басымы – абанын абсолюттук нымдуулугу аныкталат. Бул кубулушка негизделген приборлор анчалык так эмес, ыңгайсыз жана өлчөөгө узак убакытты талап кылат.

Абсолюттук нымдуулуктун аныктоосуна ылайык аны билүү үчүн абанын берилген көлөмүндөгү суу буусунун массасын аныктаса да болот. Ал үчүн гигроскопиялык заттан жасалган фильтр аркылуу нымдуу абанын белгилүү көлөмү өткөрүлөт да, фильтрге сиңирилген суу буусунун массасы аныкталат. Бирок бул методдун тактыгы кыйла төмөн, өлчөөнүн каталыгын азайтуу үчүн өтө так аналитикалык таразларды колдонуу жана абаны алдын-ала чандардан тазалоо, фильтр аркылуу узак убакыт бою өткөрүү керек болот.

Абанын нымдуулугун аныктоонун дагы бир жөнөкөй методу –

чач гигрометр методу - нымдуулуктун жогорулашына же төмөндөшүнө жараша кишинин майсыздандырылган чачынын узарышына же кыскарышына негизделген. Бул методдун да негизги кемчилиги – тактыгы анчалык жогору эмес, мындай гигрометр тез-тез көзөмөлдөп, жөндөп турууну талап кылат. Ошондуктан практикада абанын нымдуулугун аныктоо үчүн көпчүлүк учурларда психрометрдик методду колдонушат.

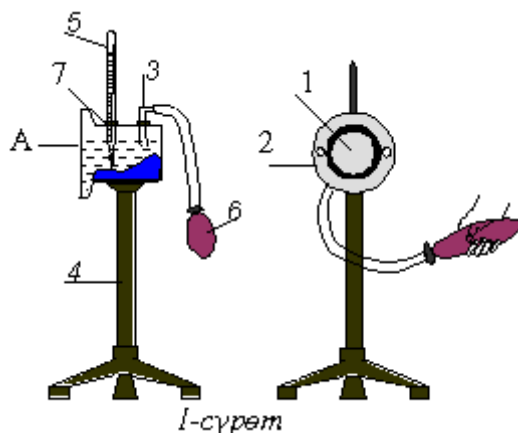
Курулманын түзүлүшү жана аны колдонуунун усулу

Бул жумушта абанын нымдуулугу гигрометрдин жана психрометрдин жардамында аныкталып, алынган натыйжалар өз ара салыштырылат.

Гигрометр - (грекче hygros-нымдоо+метр) - газдардын (абанын) нымдуулугун өлчөөчү курал. **Психрометр** -(грекче psychria-суук+метр) - кургак жана сууланган эки термометрдин көрсөтүүлөрү боюнча абанын температурасын жана нымдуулугун өлчөөчү курал.

Гигрометрдин түзүлүшү жана иштөө принциби

Гигрометр (1-сүрөт) «4» койгучка орнотулган цилиндр формасындагы металл «А» идиштен турат. Идиштин алдынкы жумушчу бети «1» никелденген жылма дисктен жана аны курчаган «2» жылма металл шакектен турат. Диск менен шакектин арасы бир аз ачык. Шакек идиштен жылуулук өткөрбөөчү материал менен ажыратылган. Жылуулук өткөрбөөчү материал жана ачык аралык идиш муздаганда, шакекти муздап кетүүдөн сактайт. Идиштин үстүнкү бөлүгүндө ага эфир куюу жана термометр салуу үчүн «7» тешик жана «6» резина үйлөткүчтү туташтыруу үчүн «3» түтүкчө бар.



Идишке «7» тешик аркылуу алгач эфир куюлуп, кийин «5» термометр орнотулат. «6» резина үйлөткүчтүн жардамында эфир акырындык менен үйлөнөт. Эфир бууланган сайын анын температурасы төмөндөйт. Ошондуктан идиш жана бөлмөдөгү абанын дискке (идиштин жылмаланган бетине) жакын турган кичине жука катмары кошо муздайт. Абанын бул катмарындагы суу буусу каныкканда дисктин бетине шүүдүрүм түшөт, диск шакекке салыштырганда

күңүрттөнө түшөт. Бул учурдагы термометрдин көрсөтүүсүнөн “шүүдүрүм чекити” аныкталат.

Жумушту аткарууда “шүүдүрүм чекитин” аныктоо үчүн, эң биринчи кезекте, гигрометрди, анын жылмаланган жаркырак бети менен шакегине күндүн нуру түз тийбегендей, ошол эле учурда алар жакшы жарыктангандай абалда жайгаштырып алуу керек. Эфирди үйлөп жатканда гигрометрдин жылмаланган бети (диски) күңүрттөнө баштаган температураны (t_1^0) жана үйлөөнү токтоткондон кийин бул күңүрттөнүү жоюлган температураны (t_2^0) мүмкүн болушунча так аныктоого аракет кылуу керек. “Шүүдүрүм чекити” t_w^0 үчүн t_1^0 жана t_2^0 температураларынын маанилеринин орточосу алынат:

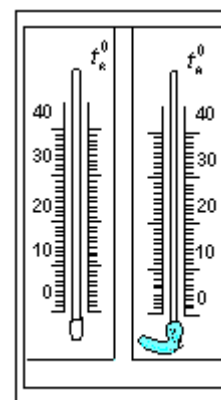
$$t_w^0 = \frac{t_1^0 + t_2^0}{2}.$$

Тиркемедеги Т.29-таблицадан каныккан буунун t_w^0 - “шүүдүрүм чекитиндеги” жана t^0 - бөлмө температурасындагы басымдары (тиешелүү түрдө - бөлмөдөгү абанын абсолюттук P_a жана максималдык P_m нымдуулуктары) аныкталат. P_a жана P_m дин маанилерин (2.1.1)-формулага коюп абанын салыштырма нымдуулугун эсептешет.

Психрометр

Психрометр кармагычка бекитилген бирдей эки термометрден турат (2-сүрөт).

Термометрлердин биринин учундагы сымап шарчасы ачык абада (куркак), ал эми экинчиси сууга нымдалган батист (пахтадан токулган кездеме) менен оролгон болот. Батисттеги суунун буулануусунан “ным” термометр муздайт. Ошондуктан анын көрсөтүүсү t_n^0 “куркак” термометрдин көрсөтүүсү t_k^0 дан төмөн болот. Психрометрди курчап турган абанын нымдуулугу канчалык аз, б.а. аба канчалык «куркак» болсо, батисттеги суунун буулануусу ошончолук тезирээк жүрөт жана “ным” термометр ошончолук көбүрөөк муздайт. Бул термометрдин көрсөтүүсүнүн төмөндөшү батисттеги суунун курчап турган абадан алган жылуулугу Q_1 , ал суунун буу пайда болуу жылуулугу Q_2 ге теңелгенде токтойт. Мына ошентип, “куркак” жана



2-сүрөт

“ным” термометрлердин көрсөтүүлөрүнүн айырмасы $(t_k^0 - t_n^0)$ – абанын нымдуулугуна көз каранды болот.

Айлана-чөйрөдөн (абадан) “ным” термометрдин батист оролгон шарчасына τ убакыт интервалында берилген жылуулук саны **Фурьенин** законунун негизинде

$$Q_1 = a \cdot (t_k^0 - t_n^0) \cdot S \cdot \tau, \quad (2.1.2)$$

мында a – пропорциялаштык коэффициенти, $(t_k^0 - t_n^0)$ – температуралардын эң чоң айырмасы, S – термометрдин батист оролгон шарчасынын бетинин аянты.

Алынган Q_1 жылуулугунун эсебинен τ убакытта батисттен бууланган суунун массасы m , Дальтондун законунун негизинде,, төмөнкү формула аркылуу аныкталат:

$$m = \frac{C \cdot S \cdot (P_n - P_a) \cdot \tau}{H}, \quad (2.1.3)$$

мында H – атмосфералык басым, P_n – “ным” термометр көрсөткөн t_n^0 температурадагы (суунун буулануу температурасындагы) каныккан суу буусунун басымы, P_a – абадагы суу буусунун басымы (абанын абсолюттук нымдуулугу), C – бууланып жаткан бетке багытталган абанын агымынын ылдамдыгына көз каранды болгон пропорциялаштык коэффициенти.

Эгерде t_n^0 температурасында суунун салыштырма буулануу жылуулугу λ болсо, анда анын буулануу жылуулугу Q_2 ни төмөнкүдөй туюнтууга болот:

$$Q_2 = m \cdot \lambda = \frac{C \cdot \lambda \cdot S \cdot (P_n - P_a) \cdot \tau}{H}. \quad (2.1.4)$$

$Q_1 = Q_2$ болгон учур үчүн (2.1.2) жана (2.1.4) формулалардан

$$\frac{C \cdot \lambda \cdot (P_n - P_a) \cdot \tau}{H} = a \cdot (t_k^0 - t_n^0) \cdot \tau \quad (2.1.5)$$

барабардыгына ээ болобуз. Мындан абанын абсолюттук нымдуулугу

$$P_a = P_n - A \cdot (t_k^0 - t_n^0) \cdot H. \quad (2.1.6)$$

Акыркы формуладагы $A = \frac{a}{C \cdot \lambda}$ чондугу – берилген психрометр үчүн турактуу жана анын сандык мааниси психрометрдин өзүндө жазылган болот.

Абсолюттук нымдуулук P_a ны жана “куркак” термометр көрсөткөн t_k^0 температурасындагы каныккан суу буусунун басымы P_m ди (максималдык нымдуулукту) билип, (2.1.1)-формула боюнча абанын салыштырма нымдуулугу аныкталат.

Абанын салыштырма нымдуулугун тиркемедеги Т.30-психрометрдик таблицадан пайдаланып аныктоо бир топ жеңил жана тез болот.

Ишти аткаруунун тартиби

Абанын абсолюттук жана салыштырма нымдуулугун гигрометрдин жардамында аныктоо

1. Бөлмөдөгү абанын температурасын t^0 жана Т.29-таблицадан бул температурадагы каныккан суу буусунун басымын - максималдык нымдуулукту P_m аныктагыла.
2. Таза материал менен гигрометрдин жылма бетин жана шакегин жылтыраганга чейин арчыгыла. Гигрометрдин A идишине ага түшүрүлүүчү термометрдин шарчасын көмгөндөй деңгээлде эфир куйгула.
3. Өзүнөрдүн демиңер гигрометрдин жылма бетинин тердешине таасирин тийгизбей тургандай аралыкта туруп, резина үйлөткүч менен эфирди үйлөгүлө. Гигрометрдин идишинин жылма бети (диск) шакекке салыштырмалуу күнүрттөнө түшкөндө эфирди үйлөөнү токтотуп, шүүдүрүм түшкөн t_1^0 жана ал бууланып жок болгон t_2^0 температураларды өлчөгүлө. $t_{ш}^0$ “шүүдүрүм чекитин” t_1^0 жана t_2^0 нин орточо арифметикалык чоңдугу катары аныктагыла:

$$t_{ш}^0 = \frac{t_1^0 + t_2^0}{2}.$$

4. Т.29-таблицадан $t_{ш}^0$ температурасындагы каныккан буунун басымын – абанын абсолюттук нымдуулугун P_a аныктагыла.
5. P_m жана P_a нын маанилерин (2.1.1)-формулага коюп, абанын салыштырма нымдуулугун аныктагыла.
6. Тажрыйбаны 3-5 жолу кайталагыла. Алынган натыйжаларды төмөнкү таблицага түшүргүлө:

чоңдуктар	t_1^0	t_2^0	$t_{ш}^0$	P_a	t^0	P_m	B	\bar{B}	ΔB	$\overline{\Delta B}$	$\frac{\overline{\Delta B}}{\bar{B}} 100\%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

**Абанын абсолюттук жана салыштырма нымдуулугун
психрометрдин жардамында аныктоо**

1. Суу тамчылатуу аркылуу термометрдин шарчасы оролгон батистти нымдагыла. “Ным” термометрдин көрсөтүүсүнүн төмөндөшү токтогон учурда, “куркак” жана “ным” термометрлердин көрсөтүүлөрү t_k^0 жана t_n^0 ди жазып алгыла.
2. Барометрдин жардамында бөлмөдөгү атмосфералык басымды (H) аныктагыла.
3. Т.29-таблицадан t_n^0 температурасындагы каныккан суу буусунун басымын (P_n) аныктагыла.
4. P_n , A , t_k^0 , t_n^0 жана H тын маанилерин (2.1.6)-формулага коюп, абанын абсолюттук нымдуулугу P_a ны аныктагыла.
5. Т.29-таблицадан t_k^0 температурада абаны каныктыруучу суу буусунун басымы (максималдык нымдуулук) P_m ди аныктагыла.
6. P_a жана P_m дин маанилерин (2.1.1)-формулага коюп, салыштырма нымдуулуктун маанисин ($B_{\%}$) аныктагыла.
7. Психрометрдик таблицадан (Т.30-таблица) пайдаланып, “куркак” жана “ным” термометрлердин көрсөтүүлөрүнүн негизинде салыштырма нымдуулуктун маанисин (B_T) тапкыла жана аны тажрыйбада аныкталган мааниси ($B_{\%}$) менен салыштыргыла.

чоңдуктар	t_k^0	t_n^0	H	A	P_n	P_a	P_m	$B_{\%}$	B_T
чен бирдиги									
1.									
2.									
3.									

Жыйынтык: 2008-жылдын _____ саат _____
229-аудиториядагы абанын абсолюттук нымдуулугу $P_a =$ _____ (гигрометр)
же (психрометр), ал эми салыштырма нымдуулугу $B =$ _____ %
(гигрометр) же _____ % (психрометр). Нормага туура келет же
нормадан жогору (нымдуу), төмөн (куркак).

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Абадагы суу бууларынын каныкпаган жана каныккан абалдарынын айырмачылыктары кандай? Каныккан буунун басымынын температурадан көз карандылыгын түшүндүргүлө.
2. Абсолюттук, максималдык жана салыштырма нымдуулуктар деп эмнени айтабыз? Алар кандай бирдиктер аркылуу туюнтулушат?
3. “Шүүдүрүм чекити” деген эмне? Шүүдүрүм түшүү кубулушун түшүндүргүлө.
4. Гигрометрди колдонуу учурунда өлчөөлөрдүн тактыгын начарлатуучу факторлорду санагыла, алардын таасирин азайтуунун жолдорун айтып бергиле. Гигрометрге эфирден башка суюктукту куюп иштесе болобу?
5. Психрометрдин жардамында абанын нымдуулугун аныктоонун артыкчылыктарын түшүндүргүлө.
6. Психрометрдеги термометрлердин көрсөтүүлөрүнүн айырмасы кайсы учурда чоң болот: бөлмөдөгү аба нымдуу болгондобу же кургак болгондобу? Эмне үчүн?
7. Нормалдуу нымдуулук кандай болушу керек, абанын нымдуулугун билүүнүн кандай мааниси бар?

2.2 АБАНЫН МОЛЕКУЛАЛАРЫНЫН ОРТОЧО КВАДРАТТЫК ЫЛДАМДЫГЫН АНЫКТОО

Иштин максаты: жылуулук тең салмактуулук абалындагы газдын молекулаларынын ылдамдыктары боюнча бөлүштүрүлүш законунун - Максвеллдин бөлүштүрүүсүнүн физикалык маанисин өздөштүрүү жана бул бөлүштүрүүнүн жардамында бөлмөдөгү абанын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгын аныктоо.

Иштин жабдылышы: айнек идиш (баллон), вакуумдук насос, тараза, барометр, термометр. Окутуучу компьютердик программалар (Открытая физика, 2.5, часть 1).

Иштин кыскача теориясы

Газдын молекулаларынын ылдамдыктары боюнча бөлүштүрүлүшү - Максвеллдин бөлүштүрүүсү. Молекулалардын мүнөздүү ылдамдыктары.

Заттын газ абалы анын катуу жана суюк абалдарынан бир топ касиеттери боюнча айырмаланып турары белгилүү. Мисалы, газ өзүнүн формасын сактай албайт, ал молекулаларынын баш аламан жылуулук кыймылынын жана тынымсыз өз ара аракеттенишүүлөрүнүн натыйжасында мейкиндикке тарап, аралашып кетүүгө умтулат. Ошондуктан газды, адатта, жабык идиштерде сакташат жана идиштин газ ээлеген ички бөлүгүнүн көлөмүн (идиштин көлөмүн) андагы газдын көлөмү катары кабыл алышат:

$$V_{идиш} = V_{газ}$$

Адамзат, жаныбарлар жана өсүмдүктөр дем алып жаткан аба – табияттагы көптөгөн газдардын бир өкүлү. Нормалдуу шарттарда ($P = 1 \text{ атм.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T = 273^0 \text{ К}$) Жердин бетине жакын катмардагы аба болжол менен 78% ке жакын азоттун, 21% ке жакын кычкылтектин жана 1% ке жакын башка газдардын (суу буусунун, көмүр кычкыл газынын ж. б.) молекулаларынын аралашмасынан турат (Т.8-таблица). Шарт өзгөргөндө абанын курамы, андагы газдардын салдыштырма үлүшү да кошо өзгөрөт. Атайын жолдор менен идиште химиялык таза, б.а белгилүү бир химиялык элементтин атомдорунан (молекулаларынан) гана турган, газды алууга болот. Түрдүү «таза» газдар турмушта өтө кеңири колдонулат. Табиятта кездешкен жана турмушта колдонулуп жаткан газдардын баарын жалпылап *чыныгы, реалдуу газдар* деп атоо кабыл алынган. Алардын көп кырдуу жекече өзгөчөлүктөрүн толук чагылдыруучу жалпы теорияны түзүү иш жүзүндө мүмкүн эмес. Ошондуктан, физикада газдардын касиеттерин окуп үйрөнүүдө реалдуу газдардын жөнөкөйлөштүрүлгөн модели – *идеалдуу газдар* каралат. Бул модель реалдуу газдардын негизги касиеттерин жетишээрлик тактыкта толук чагылдырат деп эсептелет. Атап айтканда, газдын молекулалары ошондой эле массага ээ болгон материалдык чекитке алмаштырылат, алар баш аламан кыймылдашып, бири-бири менен кездешкенде серпилгичтүү шарлар сыяктуу кагылышат деп эсептелет. Демек, идеалдуу газ моделинде молекулалардын теги, өлчөмдөрү, структурасы, өз ара жакындашканда бири-бирине тартылышуусу эсепке алынбайт. Моделдин колдонуу чеги тажрыйбаларда текшерилип, ырасталып турушу шарт. Теория тажрыйбалык фактыларды туура түшүндүрө албай калган учурларда

моделге тиешелүү толуктоолорду, түзөтүүлөрдү киргизишет, б. а. газдын чындыкка бир топ жакыныраак, башка моделин кабыл алышат. Бирок, бул аракеттер, изилденүүчү газдын касиетин туюнтуучу теңдемелерди татаалдаштырып, эсептөөлөрдү кыйындатат. Ошондуктан жөнөкөй эсептөөлөрдүн жардамында алынуучу негизги сапаттык натыйжалар биз үчүн жетишээрлик деп эсептелген шарттарда чыныгы газдардын касиеттерин түшүндүрүү үчүн заттардын молекулалык-кинетикалык теориясынын көз караштарынын чегинде түзүлгөн идеалдуу газдардын теориясын кеңири колдонобуз.

Биз бул иште бөлмөдөгү абанын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо квадраттык ылдамдыгын аныктайбыз. Абаны газдын идеалдуу моделинин шарттарын канааттандырат, б.а. идеалдуу газ деп эсептейли.

Жылуулук тең салмактуулук абалындагы абанын тыгыздыгы, басымы жана температурасы анын түрдүү бөлүктөрүндө бирдей жана туруктуу маанилерине ээ болуп тургандыгына карабастан, анын молекулалары тынымсыз кыймылдап, өз ара жана идиштин ички бетине кагылышып турушат. Ар бир молекула бир кагылышуудан экинчи удаалаш кагылышууга чейин түз сызыктуу бир калыптагы кыймылда болот, ал эми кагылышуу учурунда анын ылдамдыгынын чоңдугу жана багыты кескин түрдө өзгөрөт. Газдагы молекулалар өтө көп экендигин (нормалдуу шартта мейкиндиктин 1см^3 көлөмүндө ар кандай газда бирдей жана орто эсеп менен $n = 2,69 \cdot 10^{19}$ даана молекула бар. Бул сан *Лошмидтин саны* деп аталат) жана алар тынымсыз кагылышып турушарын (нормалдуу шартта ар бир молекула 1 секунда ичинде болжол менен 10^9 жолу кагылышууга үлгүрөт) эске алсак, анда кагылышуудан кийин бизди кызыктырган ар бир молекула кайсы багытта жана кандай ылдамдык менен кыймылын улантарын алдын ала айтууга, кайсы бир багытка артыкчылык берүүгө эч мүмкүн эмес. Мындан жылуулук тең салмактуулук абалындагы абанын молекулаларынын жылуулук кыймылы *толук баш аламан* (хаотикалык) мүнөзгө ээ, б. а. *молекулалардын жылуулук кыймылы үчүн мейкиндиктин бардык багыттарынын ыктымалдыгы бирдей* деген тыянак чыгарууга болот.

Жогоруда айтылгандай, кокустук мүнөздөгү кагылышуулар ар бир молекуланын ылдамдыгынын чоңдугун да тынымсыз өзгөртүп турат. Мындай шартта «газдын молекулаларынын ылдамдыгынын конкреттүү маанилери, алардын бөлүштүрүлүшү жөнүндө сөз кылууга болобу?» - деген мыйзамдуу суроо туулат. Бул маселени теориялык түрдө англиялык физик Дж. К. Максвелл 1860-жылы изилдеп, берилген *тең салмактуулук шартында газдын молекулаларынын жылуулук*

кыймылынын ылдамдыктары модулу боюнча анык бир закон ченемдүүлүккө ылайык бөлүштүрүлүшөт деген тыянакка келген жана ал бөлүштүрүүнү математикалык түрдө туюнткан. Идеалдуу газдын молекулаларынын ылдамдыктары боюнча бөлүштүрүлүү закону *Максвеллдин бөлүштүрүүсү* деген ат менен тарыхта белгилүү, анын тууралыгын алгачкы жолу Штерн тажрыйбада ырастаган.

Максвеллдин бөлүштүрүүсүнүн физикалык маанисин түшүнүүгө аракет кылып көрөлү.

Көлөмү V га барабар идиште кандайдыр бир газ жайгашсын дейли. Ал газдын молекулаларынын жалпы санын N менен белгилейли: $N \gg 1$. Жөнөкөй болсун үчүн бир атомдуу, бирдей (окшош) шар сымал молекулалардан турган газды карайлы. Муну менен биз молекулалардын структурасы, алардын мейкиндиктеги айлануу кыймылдары жана андагы атомдордун бири-бирине салыштырмалуу термелүү кыймылдары сыяктуу бир топ татаал маселелерди кароодон кутулуп, ишти кыйла жеңилдете алабыз. Ар бир молекуланын массасы m_0 , газдын тең салмактуу абалынын температурасы T , басымы P болсун.

Тынымсыз кыймылдын жана кагылышуулардын натыйжасында молекулалардын ылдамдыктарынын мааниси да кеңири диапазондо (эң жай кыймылдан тартып өтө тез ылдамдыктарга чейинки аралыкта) тынымсыз баш аламан өзгөрүп тургандыктан, жогоруда белгилегендей, ар бир молекуланын убакыттын ар бир моментиндеги ылдамдыгынын маанисин аныктоо мүмкүн эмес. Сөз мындай кокустук мүнөздө өзгөрүүчү чоңдуктардын кайсы бир интервалдагы маанилерге ээ болушунун ыктымалдыгы жөнүндө гана болушу мүмкүн. Ошондуктан изилденүүчү маселени өзгөртүп, төмөнкүдөй көрүнүштө талдайлы: Бардык N молекуланын ичинен канчоосу берилген убакыт ичинде кайсы бир v дан $v + dv$ га чейинки интервалдагы ылдамдыктарга ээ болушу мүмкүн? Ал санды dN менен белгилейли. dN дин мааниси молекулалардын жалпы саны N ге жана ылдамдыктын интервалынын «кеңдиги» dv га түз пропорциялаш болорун баамдоо анча кыйын эмес:

$$dN \sim Ndv. \quad (2.2.1)$$

(2.2.1) нин эки тарабын тең N ге бөлүп жиберип

$$\frac{dN}{N} \sim dv \quad (2.2.2)$$

туюнтмасын алабыз. Мындагы $\frac{dN}{N}$ катышы газдын жалпы (N) молекулаларынын арасынан кандай бөлүгү берилген интервалдагы ылдамдыктарга ээ болуп кыймылдап жатышкандыктарын, б.а. ал молекулалардын *салыштырма санын* көрсөтөт. Экинчиден, ушул эле катыш идиштеги газдын молекулаларынын ылдамдыктын берилген

интервалындагы маанилерине ээ болуп кыймылдашынын ыктымалдыгын аныктайт:

$$dW = \frac{dN}{N} \sim d\nu. \quad (2.2.3)$$

Пропорциялаштык коэффициентин киргизип (2.2.3)-туюнтманы төмөнкүдөй барабардык түрүндө жазабыз:

$$dW = f \overline{\nu} d\nu. \quad (2.2.4)$$

(2.2.3)- (2.2.4)-формулардан

$$f \overline{\nu} = \frac{dW}{d\nu} = \frac{dN}{N d\nu} \quad (2.2.5)$$

пропорциялаштык коэффициентинин физикалык мааниси аныкталат:

$f \overline{\nu}$ - ыктымалдыктардын тыгыздыгын, б.а. ылдамдыктары бирдик интервалга туура келген ($d\nu=1$ же ν дан $\nu+1$ ге чейинки интервалдагы ылдамдыктар менен кыймылдашкан) молекулалардын салыштырма санын аныктайт, жана кыскача, *бөлүштүрүү функциясы* деп аталат.

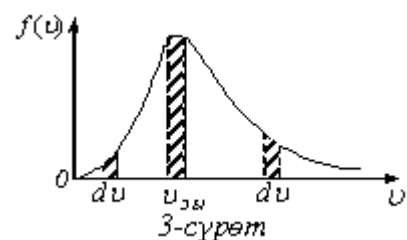
Максвелл ыктымалдыктар теориясынын методдорун идеалдуу газдардын молекулаларынын ылдамдыктары боюнча бөлүштүрүлүшү жөнүндөгү маселеге колдонуп $f \overline{\nu}$ бөлүштүрүү функциясынын ачык көрүнүшүн аныктаган:

$$f \overline{\nu} = \frac{dN}{N d\nu} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} \nu^2 e^{-\frac{m_0 \nu^2}{2kT}}, \quad (2.2.6)$$

мында k - Больцман турактуусу.

Максвеллдин бөлүштүрүүсүнүн физикалык маанисин түшүнүү үчүн $f \overline{\nu}$ бөлүштүрүү функциясынын ылдамдыктан көз карандылыгынын графигин тургузуп изилдеп көрөлү. Берилген газ үчүн ($m_0 = const$) турактуу температурада $f \overline{\nu}$ функциясынын графиги, (2.2.6)-теңдемеге ылайык, төмөндөгүдөй көрүнүштө болот (3-сүрөт). Бул сүрөттөн жана (2.2.6)-теңдемеден бир топ тыянактарды алууга болот. Сүрөттө көрүнгөндөй, тең салмактуу газдын молекулалары үчүн ылдамдыктын түрдүү маанилери бирдей ыктымалдыкка ээ эмес: жылуулук кыймылына катышып жаткан молекулалардын арасында өтө жай жана өтө тез кыймылдагандары сейрек учурайт. Бөлүштүрүү функциясынын максималдык маанисине туура келген ылдамдыктын мааниси $\nu = \nu_m = \nu_{э.бл}$ - эң ыктымалдуу ылдамдык деп аталат.

Физикалык жактан бул берилген шартта ($T = const$) $\nu = \nu_{э.бл}$ тын чекебелинде



ылдамдыктын бирдик интервалына $\langle v = I \rangle$ туура келген молекулалардын салыштырма саны $\left(\frac{dN}{N}\right)$ башка ылдамдыктардагыга караганда эң көп болот дегенди билдирет.

Эң ыктымалдуу ылдамдыктын мааниси $f(v)$ - функциясынын экстремум шартынан аныкталат:

$$\frac{\partial f(v)}{\partial v} = \frac{\partial}{\partial v} \left(v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \right) = 0. \quad (2.2.7)$$

(2.2.7)-теңдемени канааттандырган ылдамдык

$$v_{\text{э.вл.}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2kN_A T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}, \quad (2.2.8)$$

мында $R = kN_A$ - универсалдуу газ турактуусу, $\mu = m_0 N_A$ - газдын молдук массасы.

Ыктымалдыктар теориясынын формулаларын пайдаланып бөлүштүрүү функциясынын жардамында газдын молекулаларынын орточо арифметикалык жана орточо квадраттык ылдамдыктарын да аныктап алууга болот. Бул ыкма бизди газдын молекулаларынын кыймылынын орточо ылдамдыктарын эсептөө үчүн убакыттын берилген моментинде бардык молекулалардын ылдамдыктарынын маанилерин өз ара кошуп чыгып, алардын жалпы санына бөлүү же бир молекуланын ылдамдыгын чексиз узак убакыт бою байкап, көп жолу өлчөп, өлчөөлөрдүн санына бөлүү зарылчылыгынан куткарат.

Орточо арифметикалык ылдамдык

$$\bar{v} = \frac{\int_0^{\infty} v dN}{N} = \frac{\int_0^{\infty} v f(v) dv}{N} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (2.2.9)$$

жана молекулалардын ылдамдыктарынын квадратынын орточо мааниси

$$\overline{v^2} = \frac{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv}{N} = \frac{3kT}{m_0}.$$

Мындан, молекулалардын орточо квадраттык ылдамдыгы

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}. \quad (2.2.10)$$

(2.2.8-2.2.10)-формулардан жылуулук тең салмактуулук абалдагы газдын мүнөздүү ылдамдыктары өз ара

$$v_{\text{э.вл.}} : \bar{v} : \bar{v}_{\text{кв.}} = \sqrt{2} : \sqrt{\frac{8}{\pi}} : \sqrt{3} = 1 : 1,13 : 1,22$$

катышындай иретте жайгашарын, б.а. $v_{\text{э.вл.}} < \bar{v} < \bar{v}_{\text{кв}}$ болорун көрөбүз.

3-сүрөттөгү штрихтелген мамычалардын аянты ылдамдыктары тиешелүү $v \div v + dv$ интервалында жаткан молекулалардын салыштырма санын мүнөздөйт:

$$dS = f(v)dv = \frac{dN}{N dv} dv = \frac{dN}{N}. \quad (2.2.11)$$

Демек, графиктин түрдүү бөлүктөрүнөн бирдей кеңдиктеги мамычаларды бөлүп, алардын аянттарын өз ара салыштыруу аркылуу тиешелүү ылдамдыктарга ээ болуп кыймылдашкан молекулалардын үлүштөрү тууралуу тыянак жасай алабыз. (2.2.6)-теңдемеден жана анын графикинен (3-сүрөт) тең салмактуу абалдагы газдын молекулаларынын көпчүлүгү эң ыктымалдуу, орточо арифметикалык жана орточо квадраттык ылдамдыктарга жакын болгон ылдамдыктар менен кыймылдашарын көрүүгө болот. Молекулалардын тынымсыз кагылышуулары бул бөлүштүрүүнү өзгөртпөйт: кагылышуулардын натыйжасында кайсы бир ылдамдыктын интервалындагы молекулалардын саны азайып (же көбөйүп) кетсе, ошол эле мезгилдеги башка кагылышуулар алардын ордун калыбына келтирип турат. Ошентип, бөлүштүрүү функциясынын турактуулугу аны тең салмактуу абалдагы газдын түрдүү касиеттерин окуп үйрөнүү үчүн колдонууга кеңири жол ачат.

Эгерде берилген массадагы газдын температурасын өзгөртүп, мисалы, жогорулатып, башка бир тең салмактуу абалга өткөрсөк, анда (2.2.6)-теңдемеге ылайык 3-сүрөттөгү ийринин максимуму жогорку ылдамдыктарды көздөй жылып, бийиктиги төмөндөйт. Кийинки жана баштапкы ийрилердин астындагы фигуралардын аянттары бирдей болушу шарт. Бул, физикалык жактан, жабык идиштеги газды ысытканда (же муздатканда) андагы молекулалардын жалпы саны өзгөрбөйт, алардын ылдамдыктары боюнча бөлүнүшү гана өзгөрөт дегенди туюнтат. Газды ысытканда жай кыймылдаган молекулалардын үлүшү азайып, тез кыймылдаган молекулалардын үлүшү көбөйөт.

(Бөлүштүрүү функциясынын температурадан көз карандылыгын компьютердик окутуучу программалардагы моделдерден кошумча таанышууну жана өз алдынча тыянак жасоону сунуш кылабыз. Мисалы, «Открытая физика 2.5, 1-бөлүк, Максвеллдин бөлүштүрүүсү»).

Эгерде идиште бир нече газдын тең салмактуу аралашмасы жайгашса, анда (2.2.8-2.2.10)-формуларга ылайык андагы ар бир газдын молекулаларынын мүнөздүү ылдамдыктары (берилген жалпы T да) ар түрдүү маанилерге ээ болушарын байкоо анча кыйын эмес: $v \sim 1/\sqrt{m_0}$.

Аягында, бөлүштүрүү функциясынын (2.2.6)-теңдемесинен жана анын графиктеринен ар кандай шартта идиштеги газда өтө чоң

ылдамдыктарга ээ болуп кыймылдашкан молекулалар аз санда болсо да, ар дайым кездешип турарын эске ала жүргөнүбүз оң.

Бул иште бөлмөдөгү абанын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо квадраттык ылдамдыгы аныкталат. Ал үчүн абаны идеалдуу газ деп эсептеп, түздөн-түз (2.2.10)–формуланууга болоор эле. Бирок бул учурда орточо квадраттык ылдамдыктын мааниси абанын курамындагы ар бир газдын айрым молекулаларынын массасына же абанын молекулаларынын «жалпы» молдук массасына жараша ар түрдүү болорун билүү зарыл экендигин көрөбүз. Ошондуктан, абанын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгын аны лабораториянын шартында тикелей өлчөөгө мүмкүн болгон чоңдуктар аркылуу туюнтуп алып аныктоого аракет кылабы.

(2.2.10)-формуладан жылуулук тең салмактуулук абалындагы, б.а. бирдей температурадагы түрдүү газдардын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыктарынын квадраттары ал молекулалардын массаларына тескери пропорциялаш болору көрүнүп турат:

$$\frac{\overline{v_1^2}}{\overline{v_2^2}} = \frac{m_{02}}{m_{01}}.$$

Мындан $m_{01} \overline{v_1^2} = m_{02} \overline{v_2^2}$ же, барабардыктын эки жагын тең 2 ге бөлүп

$$\overline{\varepsilon_1} = \overline{\varepsilon_2} \quad (2.2.12)$$

натыйжасына ээ болобуз, мында $\overline{\varepsilon} = \frac{m_0 v^2}{2}$ - газдын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы. Бул өтө маанилүү натыйжа - *өз ара жылуулук тең салмактуулукта болушкан түрдүү газдардын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыктары ар түрдүү болгону менен алардын алга умтулуу кыймылдарынын орточо кинетикалык энергиялары бирдей болушат.*

Бул шарт жылуулук тең салмактуу абалдын жалпы мүнөздөмөсү болгон *газдын абсолюттук температурасын анын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени катары аныктоого мүмкүндүк берет.*

(2.2.12)–натыйжаны эске алып идеалдуу газдын молекулалык – кинетикалык теориясынын негизги теңдемесинен

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon}, \quad (2.2.13)$$

мында P - газдын (абанын) басымы, n - газдын молекулаларынын концентрациясы.

Демек, *жылуулук тең салмактуулугундагы газдын басымы анын молекулаларынын массасынан көз каранды болбостон, молекулалардын концентрациясына (n) жана алардын орточо кинетикалык*

энергиясына (ε) гана түз пропорциялаш деп тыянак чыгара алабыз. Бул жагдай басымды аны түзгөн молекулалардын орточо квадраттык ылдамдыгын эсептөө үчүн пайдаланууга мүмкүнчүлүк түзөт.

$n = \frac{N}{V}$ экендигин эске алып, (2.2.13)-формуланы өзгөртүп жазалы:

$$P = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 \overline{v^2},$$

мындан $3PV = Nm_0 \overline{v^2}$. $Nm_0 = m$ аркылуу идиштеги газдын жалпы массасын белгилеп, $3PV = m \overline{v^2}$ туюнтмасына ээ болобуз.

Акыркы теңдемеден

$$\overline{v^2} = \frac{3PV}{m} \quad \text{же} \quad \overline{v_{\text{кв}}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3PV}{m}}. \quad (2.2.14)$$

(2.2.10)-теңдемеден айырмаланып эми, орточо квадраттык ылдамдыкты аныктоо үчүн, газдын басымын, көлөмүн жана жалпы массасын билүү жетиштүү болот. Бул чоңдуктарды лабораториянын шартында аныктоо анчалык кыйынчылыкты туудурбайт.

Бул жумушту аткаруу үчүн бөлмөдөгү абадан көлөмү V га барабар айнек идишине камалган бөлүгүн бөлүп карайлы. Демек, биз изилдеп жаткан абанын көлөмү V га барабар. Колбанын оозуна кийгизилген резина түтүгү ачык турганда анын ичиндеги абанын басымы бөлмөдөгү абанын басымы менен бирдей болот. Ошондуктан, колбадагы абанын басымын бөлмөдөгү барометрдин көрсөтүүсү боюнча аныктай алабыз. Эми колбадагы абанын массасын (m) билүү гана калды.

Биз изилдеп жаткан абанын массасын аныктоо үчүн төмөнкүдөй ыкманы колдонобуз. Алгач колбаны ичиндеги абасы, резина түтүгү жана кыскычы менен кошо таразага тартып жалпы массаны (m_1) аныктайбыз. Андан кийин насосту колдонуп колбадагы абаны сордуруп чыгарабыз, түтүктү кыскычтын жардамында кысып, идишти жабабыз да, кайрадан таразага тартабыз. Бул учурда «абасыз» идиштин массасын (m_2) аныктайбыз. Бул эки чоңдуктун айырмасы жакындаштырган түрдө колбадагы абанын массасын берет:

$$m = m_1 - m_2. \quad (2.2.15)$$

Эсептөөнүн тактыгы колбадан абаны толук сордуруу даражасынан, колбанын жана түтүктүн ички беттерине сиңген газдын буулануу интенсивдүүлүгүнөн, түтүк кийгизилген жана кысылган жерлердин «бүтүндүгүнөн», таразанын сезгичтик даражасынан көз каранды. Бул факторлордун таасирин бөлмөдөгү абанын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгынын тажрыйбанын негизинде (2.2.14)-формула боюнча аныкталган жана (2.2.10)-формулананын жардамында эсептелген маанилерин салыштыруу аркылуу баалай алабыз.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Барометрдин жардамында бөлмөдөгү абанын басымын аныктап, аны «*Pa*» менен туюнткула.
2. Колбадагы абанын көлөмүн аныктап, аны m^3 менен туюнткула.
3. Колбадагы абанын массасын аныктагыла, ал үчүн ичинде абасы бар колбаны резина түтүгү, кыскычы менен кошо таразага тартып, жалпы масса m_1 ди аныктагыла, андан кийин колбаны резина түтүгү аркылуу насоско кошуп, ичиндеги абасын сыртка сордуруп чыгаргыла, түтүктү кыскыч менен бекитип, кайрадан таразага тарткыла да, «абасыз» идиштин массасы m_2 ни аныктагыла,
 m_1 жана m_2 нин маанилерин (2.2.15)-формулага коюп, колбадагы абанын массасын эсептегиле, алынган натыйжаны «*kg*» менен туюнткула.
4. Изилденүүчү абанын басымы, көлөмү жана массасынын маанилерин (2.2.14)-формулага коюп, анын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгын эсептегиле.
5. Тажрыйбаларды 3 жолу кайталап, алынган натыйжаны таблицага түшүргүлө.
6. Бөлмөдөгү абанын молекулаларынын кыймылынын орточо квадраттык ылдамдыктарынын тажрыйбада аныкталган орточо маанисин (2.2.10)–теңдеменин жардамында эсептелген мааниси менен салыштыргыла жана керектүү тыянактарды жасагыла.
7. Молекулалардын мүнөздүү ылдамдыктарынын газдын температурасынан көз карандылыгын компьютердик моделдердин жардамында изилдеп, тиешелүү тыянактарды чыгаргыла.

чоңдуктар	P	V	m_1	m_2	m	$v_{кв}$	$\bar{v}_{кв}$	$\Delta v_{кв}$	$\Delta \bar{v}_{кв}$	$\frac{\Delta \bar{v}_{кв}}{\bar{v}_{кв}} 100\%$
чен бирдиги										
1.										
2.										
3.										

1. $\overline{v_{кв.}} = \overline{v_{кв.} \pm \Delta v_{кв.}} = \underline{\hspace{2cm}}$

2. $\overline{v_{кв.}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Виртуалдык эксперименттин натыйжасы: абанын (газдын) температурасы өзгөргөн кезде анын молекулаларынын мүнөздүү ылдамдыктары _____

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Максвеллдин бөлүштүрүүсүнүн физикалык маанисин айтып бергиле.
2. Идеалдуу газ деген эмне? Бөлмөдөгү абаны идеалдуу газ катары саноого болобу?
3. Идеалдуу газдын МКТсынын негизги теңдемесинин физикалык маанисин түшүндүргүлө.
4. «Реалдуу» газдарга, алардын практикалык колдонулуштарына мисалдарды келтиргиле.
5. Тең салмактуу абалдагы аралашма газдын түрдүү компоненттеринин молекулаларынын орточо кинетикалык энергиялары бирдей болсо, алардын мүнөздүү ылдамдыктары да бирдей болушабы?
6. Кадимки шарттарда абанын молекулаларынын көпчүлүгү өтө чоң ылдамдыктарга ээ болуп кыймылдашкандарына карабастан эмне үчүн алар бири-биринен тез алыстап, таркап кетишпейт?
7. Бул иште абанын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо квадраттык ылдамдыгын кантип аныктадыңар жана аны аныктоодо кандай каталыктарга жол бердиңер?

2.3. АБАНЫН МОЛЕКУЛАЛАРЫНЫН ОРТОЧО ЭРКИН ЖОЛ УЗУНДУГУН ЖАНА ЭФФЕКТИВДҮҮ ДИАМЕТРИН АНЫКТОО

Иштин максаты: газдын айрым бөлүкчөлөрүнүн мүнөздөмөлөрүн анын жалпы касиетин мүнөздөгөн чоңдуктар аркылуу аныктоонун жолдорун өздөштүрүү. Абанын молекулаларынын жылуулук кыймылынын орточо эркин жол узундугун жана эффективдүү диаметрин аныктоо.

Иштин жабдылышы: штативге орнотулган айнек идиш (баллон), сызгыч, тараза, мензурка, секундомер, суу, барометр, термометр. Окутуучу компьютердик программалар (Открытая физика, 2.5, часть 1).

Иштин кыскача теориясы

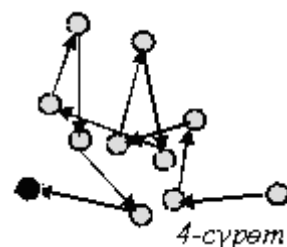
Заттын молекулалык-кинетикалык теориясынын (МКТнын) негизги жоболоруна ылайык газдын молекулалары тынымсыз баш аламан кыймылдап, өз ара кагылышып турушат. Мындай мүнөздөгү кыймылды молекулалардын *жылуулук кыймылы* деп аташат, анын интенсивдүүлүгү газдын температурасына көз каранды: газды ысытканда анын бөлүкчөлөрүнүн жылуулук кыймылы күчөйт жана, тескерисинче. Секундасына миллиардка чамалаш кокустук мүнөздөгү кагылышуулардын натыйжасында молекула кыймыл багытын тынымсыз, баш аламан өзгөртүп барат. Ошондуктан анын түрдүү багыттар боюнча которулуштары негизинен өз ара компенсацияланышып, молекулалардын жылуулук кыймылынын ылдамдыгы өтө чоң болгондугуна карабастан жыйынтыктоочу которулуш анчалык чоң болбойт. Молекула, броун бөлүкчөсү сыяктуу, сынык сызыктарды бойлото кыймылдап, 1 секундада өзүнүн баштапкы ордуна болжол менен, араң 1мм че алыстайт. Конвекциялык агымдар, желаргы жок кезде ар кандай жыттын салыштырмалуу жай тарашы мына ушуну менен түшүндүрүлөт.

Молекулалардын жылуулук кыймылынын траекториясын схемалык түрдө төмөнкүдөй элестетүүгө болот (4-сүрөт).

Молекуланын бир кагылышуудан экинчи кагылышууга чейин басып өткөн аралыгы (удаалаш эки кагылышуунун ортосундагы аралык – λ_i) анын *эркин жол узундугу* деп аталат.

Молекулалардын жылуулук кыймылы тынымсыз баш аламан мүнөздө болгондуктан λ_i туруктуу бир мааниге ээ боло албайт. Анткени убакыттын кайсы бир моментинде молекулалардын мейкиндиктин түрдүү бөлүктөрүндө орун алган удаалаш эки кагылышууларынын ортосундагы аралыктар ар түрдүү, жана, ошондой эле, бир молекуланын убакыттын түрдүү моменттериндеги удаалаш эки кагылышууларынын ортосундагы аралыктар да өз ара барабар эмес болушат. Ошондуктан, МКТда молекулалардын *орточо эркин жол узундугу* түшүнүгү колдонулат. *Молекуланын удаалаш кагылышууларынын арасындагы орточо аралык анын орточо эркин жол узундугу деп аталат* да $\bar{\lambda}$ аркылуу белгиленет.

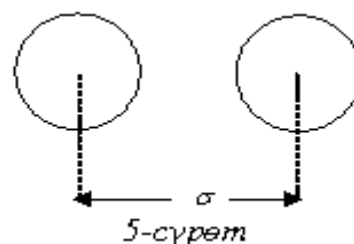
Эгерде башка нерсе аракет этпесе молекула өзүнүн түз сызыктуу алга умтулуу кыймылын уланта берери инерция законунан белгилүү. Кыймылдагы молекулалар бири-бирине жакындай баштаганда алардын ортосундагы аракеттенишүү сезилээрлик даражага жетип күчөйт.



Эсептөөлөр молекулалардын ортосундагы аралык алардын өздөрүнүн өлчөмдөрүнө чамалуу болгон учурда аракеттенишүү негизинен өз ара түртүшүү мүнөзүндө болорун көрсөтөт.

Мындай аракеттенишүүнүн натыйжасында ал молекулалардын кыймылы – ылдамдыктарынын багыты жана чоңдугу өзгөрөт. Бул процессти молекулалардын *кагылышуусу* деп аташат. Анын узактыгы молекулалардын «эркин» кыймылынын узактыгынан бир топ кыска болгондуктан, адатта, кагылышуулар көз ирмемде (өтө тез, $\Delta\tau \approx 0$) болуп өтөт, молекуланын ылдамдыгынын чоңдугу жана багыты кагылышуу учурунда секирик түрдө өзгөрөт деп эсептөөгө болот.

Кагылышып жаткан молекулалар өз ара жакындашкан эң кыска аралыктын чоңдугу болжол менен алардын өздөрүнүн өлчөмдөрүнө чамалуу тартипте болот. Ошондуктан, кагылышып жаткан шар сымал эки молекуланын борборлорунун арасындагы орточо аралыкты ал молекулалардын *эффективдүү диаметри* (σ) катары кабыл алышат (5-сүрөт). Жалпы



учурда $\sigma \geq d_m$, жана анын чоңдугу кагылышып жаткан молекулалардын түзүлүшүнөн, кыймылынын ылдамдыктарынан жана аракеттенишүүнүн табиятынан көз каранды. Алсак, газды ысытканда молекулалардын кинетикалык энергиялары (демек, ылдамдыктары) артып, кагылышуу учурунда алар бири-бирине жакыныраак келишет, б.а. алардын эффективдүү диаметри азаят. Башка мисал—эгерде газ бирдей белгиде заряддалган иондордон түзүлсө, алардын кагылышуусу салыштырмалуу алыс аралыктарда эле ишке ашат. Жекече учурда, мисалы, идеалдуу газдын молекулалары өз ара абсолюттук катуу шарлар сыяктуу серпилгичтүү кагылышат, б.а. бири-бирине түздөн-түз тийишкенге чейин жакындашып, анан алыстайт деп эсептейбиз. Газдын молекулаларын шар сыяктуу деп элестеткен бул учурда гана молекулалардын эффективдүү диаметри алардын чыныгы диаметрине тең болот: $\sigma = d_m$. Ошондуктан молекулалардын эффективдүү диаметри (σ) алардын чыныгы өлчөмдөрүн аныктайт деп түшүнбөө керек. Деги эле, атом, молекула сыяктуу микробөлүкчөлөрдүн өлчөмдөрүн так аныктоо өтө татаал маселе, алардын сандык мааниси аныктоонун колдонулган методдоруна жараша ар түрдүү болот.

Молекулалардын орточо эркин жол узундугу жана эффективдүү диаметри МКТнын негизги түшүнүктөрүнөн болот. Алар заттарда жүрүүчү ташуу процесстерин (жылуулук өткөрүмдүүлүктү, ички сүрүлүүнү, диффузияны) жана алардын интенсивдүүлүктөрүнүн температурадан, басымдан көз карандылыктарын МКТнын негизинде

түшүндүрүүдө колдонулат. Ошондуктан бул чоңдуктарды аныктоо - МКТнын негизги маселелеринин бири.

Молекуланын орточо эркин жол узундугун ($\bar{\lambda}$) табуу үчүн анын кандайдыр бир t убакыт интервалы ичинде басып өткөн жолун (S) ошол убакыттагы (же аралыктагы) кагылышуулардын санына (N) бөлүү зарыл:

$$\bar{\lambda} = \frac{S}{N} . \quad (2.3.1)$$

Молекулалардын жылуулук кыймылынын орточо арифметикалык ылдамдыгы \bar{v} жана кагылышуулардын жыштыгы (б.а. 1 молекуланын 1 секунда ичинде башка молекулалар менен кагылышууларынын орточо саны) \bar{Z} белгилүү болсо, анда $S = \bar{v}t$ жана $N = \bar{Z}t$ болорун эске алып (2.3.1)-формулананы төмөнкүдөй өзгөртүп жазууга болот:

$$\bar{\lambda} = \frac{S}{N} = \frac{\bar{v}t}{\bar{Z}t} = \frac{\bar{v}}{\bar{Z}} . \quad (2.3.2)$$

Газдардын кинетикалык теориясынан

$$\bar{Z} = \sqrt{2}\pi\sigma^2\bar{v}n , \quad (2.3.3)$$

мында σ - молекулалардын эффективдүү диаметри, ал эми n - молекулалардын концентрациясы. (2.3.3)-формуладагы \bar{Z} нун маанисин (2.3.2)-формулага койсок

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2n} . \quad (2.3.4)$$

Акыркы формулананы нормалдуу шарттагы абанын молекулалары үчүн колдонуп, ($\sigma \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $n \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$) $\bar{\lambda} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ болорун, б.а. кадимки шарттарда абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу алардын өлчөмдөрүнөн миңдеген эсе чоң экендигин көрүүгө болот.

(2.3.4)-формуладагы молекулалардын эффективдүү диаметри жана концентрациясы берилген массадагы газ үчүн анын температурасынан жана басымынан көз каранды. Мисалы, жабык идиштеги ($n = \text{const}$) газды ысытканда, жогоруда белгилегендей, молекулалардын эффективдүү диаметри кичирейип, натыйжада $\bar{\lambda}$ артат. Эгерде турактуу температура кезинде идиштеги молекулалардын концентрациясын өзгөртсөк (газды кыссак, кеңейтсек же идишке газды кошумча киргизсек, чыгарсак) МКТнын негизги теңдемесине ылайык $T = \text{const}$ кезинде $n \sim P$, ошондуктан басым жогорулаганда $\bar{\lambda}$ азаят жана тескерисинче.

Газдын макроскопиялык (P, V, T) жана микроскопиялык ($\bar{\lambda}, \sigma, m_0, \bar{v}, n$) касиеттерин мүнөздөгөн параметрлердин ортосундагы байланыш формулалары МКТда келтирилип чыгарылат, ал

теңдемелерди билүү чоңдуктардын бирин өлчөө аркылуу башкаларынын маанилерин эсептөөгө, алар аркылуу туюнтулган кубулуштарды туура түшүнүүгө жана башкарууга мүмкүнчүлүк берет. Мисалы, температурасы чөйрөнүн температурасынан айырмалуу (ысык же муздак) болгон затты ошол абалында узак убакыт бою сактоо үчүн анын айлана–чөйрө менен жылуулук алмашуусун азайтуу керек. Ал үчүн затты жылуулук өткөрүмдүүлүгү өтө начар нерсе менен толук ороп же аны курчап турган чөйрөнүн жылуулук өткөрүмдүүлүгүн азайтышат. Экинчи ыкма ысык (же муздак) суюктуктарды сактоого ылайыкташтырылган Дьюардын идиштеринде колдонулган. Идиш эки кабат материалдан жасалат. Бул кабаттардын арасындагы аба сордурулуп чыгарылып, идиш туюкталып бүтөлөт. Идиштеги кабаттардын арасынан абаны сыртка сордуруп сейректеткенде n азаят, аны менен кошо $\bar{\lambda}$ чоңоет, ал экөө биргеликте абанын (чөйрөнүн) жылуулук өткөрүмдүүлүгүнүн начарлашына алып келет.

Бөлмөдөгү абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугун (2.3.4)-формуланын негизинде эсептөө үчүн σ жана n белгилүү болушу керек. Ошондуктан бул иште $\bar{\lambda}$ ну аныктоо үчүн газдардагы ички сүрүлүү кубулушун мүнөздөгөн ички сүрүлүү коэффициенти η менен газдын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу $\bar{\lambda}$ ну байланыштыруучу

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v} \quad (2.3.5)$$

формуласын аба үчүн колдонобуз. Бул учурда ρ - абанын тыгыздыгы, \bar{v} - абанын молекулаларынын орточо арифметикалык ылдамдыгы. Абаны идеалдуу газ катары эсептесек, анда

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}, \quad (2.3.6)$$

ал эми абанын тыгыздыгын газ абалынын $PV = \frac{m}{\mu} \cdot RT$ теңдемесин пайдаланып

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT} \quad (2.3.7)$$

аркылуу туюнтуп жазып алабыз .

(2.3.6-2.3.7)- туюнмаларды (2.3.5)-ке коюп

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{P\mu}{RT} \bar{\lambda} \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (2.3.8)$$

ээ болобуз. Бул формулага кирген бөлмөдөгү абанын басымы (P), температурасы (T) оңой эле аныкталат. $\mu = 0,029 \text{ кг/моль}$, $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$. Барабардыктын сол жагындагы абанын илешимдүүлүк коэффициентин

атайын тажрыйбанын негизинде башка чоңдуктар аркылуу туюнтуп, (2.3.8)-формуладан $\bar{\lambda}$ ну аныктоого аракет кылып көрөлү.

Пуазейль газдардын түтүк аркылуу ламинардык агымын изилдеп, газдын илешимдүүлүк коэффициенти түтүктүн параметрлери жана анын учтарындагы басым аркылуу төмөнкүдөй байланышарын аныктаган:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8Vl} \Delta P \tau, \quad (2.3.9)$$

мында r - түтүктүн ички радиусу, l – анын узундугу, ΔP - түтүктүн учтарындагы басымдардын айырмасы, V – түтүк аркылуу өткөн газдын көлөмү, τ - газдын агуу узактыгы. Бул формула *Пуазейлдин формуласы* деп аталат.

Биз бул иште абанын ички сүрүлүү коэффициенти (2.3.9)-Пуазейлдин формуласын пайдаланып табалы дейли, анда аны (2.3.8)-формулага коюп, абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу үчүн

$$\bar{\lambda} = \frac{3\pi r^4 \Delta P \tau \sqrt{\pi RT}}{16VlP\sqrt{2\mu}} \quad (2.3.10)$$

туюнмасына ээ болобуз. Мындагы $\Delta P, V$ жана τ дан башка чоңдуктардын (r, l, T, P, μ) маанилери оңой эле аныкталат жана алар тажрыйба жүргүзүп жаткан мезгилде турактуу сакталышат. Ошондуктан (2.3.10)-формуладагы турактуу параметрлердин жыйындысын өзүнчө эсептеп, C аркылуу белгилеп, аны төмөнкүдөй көрүнүштө жазып алуу ыңгайлуу:

$$\bar{\lambda} = C \frac{\Delta P \tau}{V}, \quad (2.3.11)$$

мында

$$C = \frac{3\pi r^4 \sqrt{\pi RT}}{16lP\sqrt{2\mu}}. \quad (2.3.12)$$

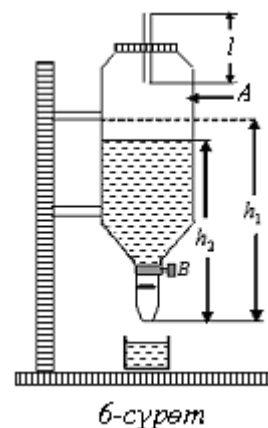
(2.3.11)-формуладагы $\Delta P, V, \tau$ нун маанилери бизге белгисиз. Ошондуктан ишти аткаруунун ыкмасын - аба менен жүргүзүлүүчү тажрыйбаны жана аны ишке ашыруучу курулманы - абанын жогорудагы белгисиз мүнөздөмөлөрүн аныктоого мүмкүн болгондой кылып тандап алышыбыз зарыл.

Эксперименталдык курулма

Бул маселени чечүүгө ылайыкташтырылган курулма штативге тик абалда карматылган жана төмөнкү бөлүгү краны бар түтүкчө менен

бүткөн айнек идиштен (А) турат (6-сүрөт).

Идиштин жогору караган оозу ички радиусу r жана узундугу l болгон түтүк көзөп өткөрүлгөн тыгын менен бекем бекитилген. Идиштин болжол менен $\frac{3}{4}$ бөлүгүнө суу толтурулат жана ал тажрыйба учурунда жогорку ичке түтүкчө аркылуу абанын ламинардык агымын түзүү үчүн кызмат кылат. Анткени төмөнкү кранды ачып идиштеги сууну тамчылатып агызганда жогорку түтүктүн учтарында басымдардын айырмасы түзүлөт да түтүк аркылуу идишке аба агып кире баштайт. Сууну тамчылатып жай агызуу түтүк аркылуу өтүп жаткан абанын агымынын ламинардык болушун камсыздайт, демек, абанын бул агымына Пуазейлдин (2.3.9)-теңдемесин колдонууга жана (2.3.11)-теңдеменин жардамында абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугун аныктоого болот.



Тажрыйбаны жөнөкөй талдоонун жана сакталуу законунун негизинде түтүк аркылуу агып өткөн абанын көлөмү идиштен агып чыккан суунун көлөмүнө, абанын агуу убактысы суунун агуу убактысына, ал эми түтүктүн учтарындагы абанын басымдарынын айырмасы сан жагынан суунун идиштен агып чыккан бөлүгүнүн басымына барабар экендигин көрөбүз:

$$V_{аба} = V_{суу}, \quad \tau_{аба} = \tau_{суу}, \quad \Delta P_{аба} = \Delta P_{суу} = \rho_{суу} g \Delta h = \rho_{суу} g (h_1 - h_2),$$

мында $\rho_{суу}$ - суунун тыгыздыгы, h_1 жана h_2 - идиштеги суунун баштапкы жана кийинки деңгээлдери.

Мына ошентип, бул ишти аткаруу үчүн сунуш кылынган курулма жана эксперименталдык ыкма түтүк аркылуу ламинардык түрдө агып өткөн абанын (2.3.11)-формулага керектүү көлөмүнүн, убактысынын жана түтүктүн учтарында түзүлгөн абанын басымдарынын айырмасынын ордуна идиштен агып чыккан суунун тиешелеш мүнөздөмөлөрүн өлчөп алууга, натыйжада $\bar{\lambda}$ ну аныктоону кыйла жеңилдетүүгө мүмкүнчүлүк түзөт.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Курулма менен таанышкыла (6-сүрөт) жана аны тажрыйба жасоого даярдагыла: «А» идишинин $\frac{3}{4}$ бөлүгүн суу менен толтургула жана суунун баштапкы (h_1) деңгээлин белгилеп алгыла.

2. (2.3.12)-формуладагы чоңдуктардын маанилерин өлчөп, C ны эсептегиле.

3. Идиштен агып чыккан суунун көлөмүн (V) жана агуу убактысын τ өлчөгүлө. Ал үчүн «В» кранын суу идиштен тамчылап аккандай даражада ачкыла да убакытты өлчөөнү баштагыла. Тажрыйбаларда болжол менен $(50 - 80) \text{ см}^3$ сууну тамчылатып агызуу сунуш кылынат. Тамчылатууну токтотуп кран жабылаар замат секундомерди да кошо токтоткула, τ нын маанисин жазып алгыла, идиштеги суунун кийинки деңгээлин (h_2) белгилегиле. Идиштен агып чыккан суунун көлөмүн эки жол менен аныктоого болот:

- эгерде агып чыккан суу мензуркага топтолсо, анын көлөмү тикелей өлчөнөт,

- эгерде суу башка идишке топтолсо, анда алгач анын массасы m аныкталып, $V = \frac{m}{\rho_c}$ формуласынын жардамында көлөмү табылат, мында

ρ_c - суунун тыгыздыгы. Суунун массасы m_2 суу куюлган m_1 жана бош идиштин массасы (m_1) дин айырмасы катары аныкталат:

$$m = m_2 - m_1 .$$

4. Идиштеги суунун баштапкы (h_1) жана кийинки (h_2) деңгээлдеринин маанилерин пайдаланып басымдардын айырмасын аныктагыла:

$$\Delta P = \rho_c g (h_1 - h_2)$$

5. Тажрыйбада аныкталган жана эсептелген чоңдуктардын маанилерин (2.3.11)-формулага коюп $\bar{\lambda}$ ну эсептегиле. Тажрыйбаны 3 жолу кайталагыла.

6. Алынган маалыматтарды пайдаланып абанын молекулаларынын эффективдүү диаметрин тапкыла: (2.3.4)-формуладан

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi n \bar{\lambda}}} . \quad (2.3.13)$$

МКТнын негизги $P = nkT$ теңдемесинен молекулалардын концентрациясын газдын басымы жана температурасы аркылуу туюнтуп, $n = \frac{P}{kT}$, (2.3.13)-формулага коюп молекуланын эффективдүү диаметрин эсептегиле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{kT}{\sqrt{2\pi \bar{P}}}} . \quad (2.3.15)$$

чоңдуктар	C	τ	h_1	h_2	ΔP	V	λ	$\bar{\lambda}$	$\Delta \bar{\lambda}$	$\frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} 100\%$	σ
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Молекулалардын эркин жол узундугу деген эмне ?
2. Газдын ички сүрүлүү коэффициенти анын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу менен кандайча байланышат?
3. Пуазейлдин формуласынын физикалык маанисин ачып көрсөткүлө.
4. Бул иште абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугун кантип аныктадыңар?
5. Молекулалардын эффективдүү диаметри деп эмнени айтабыз жана аны аныктоонун кандай жолдорун билесиңер?

2.4. АБАНЫН ЖЫЛУУЛУК СЫЙЫМДУУЛУКТАРЫНЫН КАТЫШЫН АНЫКТОО

Иштин максаты: термодинамиканын биринчи законун колдонуп, газдардын түрдүү процесстердеги жылуулук сыйымдуулуктарын аныктоону окуп үйрөнүү; абанын турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулугунун C_p турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулугуна C_v болгон катышын (γ) абаны адиабаттык кеңейтүүнүн жардамында аныктоо.

Иштин жабдылышы: айнек идиш, резина түтүкчөлөрү, кыскычтар, Комовскийдин насосу, суюктук манометри.

Иштин кыскача теориясы

1. Термодинамиканын биринчи закону жана анын газдардагы изопроцесстерди изилдөөгө колдонулушу

Адамзаттын тиричилигинде кездешкен аракеттин дээрлик бардыгы белгилүү бир даражада энергияны «өндүрүү», сактоо жана ар кандай түрлөргө өзгөртүп пайдалануу менен байланышкан. Энергиянын бир түрдөн башка түрлөргө айлануусу табияттын фундаменталдык законунун – энергиянын сакталуу законунун чегинде жүрөт. Бул закондун жылуулук кубулуштарына ылайыкташкан жекече көрүнүшү физикада *термодинамиканын биринчи закону (баиталышы)* деген ат менен белгилүү. Термодинамиканын биринчи закону 1840-жылдары Джоулдун, Клаузиустун, Гельмгольцтун жана Майердин эмгектеринде аныкталган. Тарыхта бул закондун бир нече тең күчтүү физикалык аныктамалары жана математикалык туюнтулуштары белгилүү. Алардын бардыгы тең акыры келип жылуулук алмашуу процессине катышкан нерсенин ички энергиясынын өзгөрүшүнүн, бул учурда аткарылган жумуштун жана жылуулук энергиясынын ортосундагы сандык байланышты (ар башка сүйлөмдөр жана теңдемелер аркылуу) туюнтат.

Бизге массасы m (бөлүкчөлөрүнүн саны N) болгон нерсе берилсин дейли. Ал белгилүү бир ички энергияга ээ. Ички энергия U менен белгиленет. Ар кандай заттын ички энергиясы аны түзгөн майда бөлүкчөлөрдүн (молекула, атом, ион) жылуулук кыймылынын кинетикалык энергияларынын жана алардын өз ара аракеттенишүүлөрүнүн потенциалдык энергияларынын суммасына барабар.

Термодинамиканын биринчи закону мындай нерсенин *ички энергиясын эки гана жол менен – жылуулук алмашуу жана жумуш аткаруу жолу менен өзгөртүүгө болорун* көрсөтөт. Дифференциалдык түрдө алардын ортосундагы байланыш:

$$dU = \delta Q - \delta A \quad (2.4.1)$$

көрүнүшүндө жазылат. Мында dU - нерсенин ички энергиясынын өзгөрүшүнүн чоңдугу, δQ - жылуулук алмашуу кезинде нерсе алган энергиянын чоңдугу, δA - аткарылган жумуштун (механикалык энергиянын) чоңдугу. δQ – «элементардык жылуулук саны», ал эми δA - «элементардык жумуш» деп окулат.

Конкреттүү процесстердеги бул чоңдуктардын толук маанилери тиешелүү элементардык чоңдуктардын суммасы катары табылат:

$$\Delta U = \int dU ; \quad Q = \int \delta Q ; \quad A = \int \delta A ;$$

(2.4.1)-теңдемедеги чоңдуктардын баары тең энергиянын түрдүү формаларынын сандык өлчөмүн туюнтушкандыктан бирдей чен бирдикке ээ, бирдиктердин Эл аралык системасында «Джоуль» менен өлчөнөт. Бул чоңдуктардын белгисин изилдеп жаткан нерсеге карата аныктоо кабыл алынган. Мисалы, жылуулук алмашуу же жумуш аткаруу учурунда нерсенин ички энергиясы жогоруласа, анда $dU > 0$, азайса $dU < 0$ болот. Эгерде нерсе сырттан жылуулук алса $\delta Q > 0$, сыртка берсе $\delta Q < 0$. Эгерде нерсе өзү жумуш аткарса $\delta A > 0$, ал эми сырткы күчтөрдүн нерсеге аракет этип аткарган элементардык жумушу $\delta A < 0$.

(2.4.1)-теңдемени өзгөртүп, төмөнкүдөй түрдө жазып алалы:

$$\delta Q = dU + \delta A . \quad (2.4.2)$$

Бул учурда термодинамиканын биринчи закону төмөнкүдөй айтылат: *жылуулук алмашуу кезинде нерсе алган жылуулук саны анын ички энергиясын өзгөртүүгө жана нерсенин сырткы күчтөргө каршы жумуш аткарышына сарпталат.*

((2.4.2)-теңдемедеги чоңдуктардын алдындагы белгини карама-каршысына өзгөртүп жазып закондун кандайча окулушун өз алдыңарча машыгып айтып көргүлө.)

(2.4.1)-(2.4.2)-теңдемелер энергия алмашууга катышкан ар кандай нерселерге жана түрдүү процесстерге колдонууга жарактуу жалпы мүнөзгө ээ. Анын эсептөөлөргө ыңгайлуу конкреттүү көрүнүштөрү заттын түрүнө, өлчөмдөрүнө жана талданып жаткан процесстин өзгөчөлүктөрүнө жараша болот.

Биз бул иште термодинамиканын биринчи законун түрдүү процесстерге катышкан газдардын касиеттерин изилдөөгө, тактап айтканда, анын турактуу басым жана турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулуктарын эсептөөгө, алардын катышын аныктоого колдонобуз.

Берилген массадагы газдын тең салмактуу абалы бири-бири менен абалдын теңдемелери аркылуу байланышкан макропараметрлери – көлөмү V , температурасы T жана басымы P аркылуу мүнөздөлөт.

Мисалы, идеалдуу газ үчүн абалдын теңдемеси *Менделеев-Клапейрондун теңдемеси* деп аталат:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT , \quad (2.4.3)$$

мында m - газдын массасы, μ - молдук массасы.

Газдын абалын мүнөздөгөн (P, V, T) макропараметрлердин жок дегенде биринин өзгөрүүсү менен коштолгон бир абалдан башка абалга өтүүсү *процесс* деп аталат. Адатта, жаратылышта жана техникада

жүрүүчү көпчүлүк процесстерде газдын абалынын 2 же бардык 3 параметри чогуу өзгөрүшү мүмкүн. Бирок, тиешелүү шарттарды камсыз кылуу менен, газдын абалынын 1 параметрин турактуу сактап процесс жасоого болот. Мындай процесстер *изопроцесстер* (грекче isos-барабар, бирдей, окшош) деп аталышат. Аларга кийин кененирээк токтолобуз.

Азыр идеалдуу газдын элементардык жумушун, элементардык жылуулук санын анын абалынын параметрлери аркылуу туюнтуп эсептөөчү теңдемелерди табууга аракет кылалы.

Механикадагы жумуштун аныктоосун пайдаланып, идеалдуу газдын жумушу үчүн төмөнкү формулага ээ болобуз:

$$\delta A = F dx = P S dx = P dV, \quad (2.4.4)$$

мында:

$$P = \frac{F}{S} \quad \text{- газдын басымы,}$$

F - молекулалардын поршенге аракет эткен күчү,

S - күч аракет эткен поршендин бетинин аянты,

dx - күчтүн аракети менен поршень жылган аралык,

dV - газдын көлөмүнүн өзгөрүшү.

Ал эми газга (же ар кандай эле затка) берилген жылуулук саны δQ анын температурасын өзгөртөрү (ысытары) белгилүү, демек $\delta Q \sim dT$. Пропорциялаштык коэффициентин киргизип муну

$$\delta Q = C_x dT \quad (2.4.5)$$

көрүнүшүндө жазууга болот. Мында C_x газдын (заттын) *жылуулук сыйымдуулугу* деп аталат жана ал сан жагынан газдын (заттын) температурасын 1 градуска жогорулатуу үчүн зарыл болгон жылуулук санына барабар:

$$C_x = \frac{\delta Q}{dT}, \quad dT = 1 \quad \text{болгондо} \quad C_x = \delta Q.$$

Заттардын жылуулук сыйымдуулугунун (C_x) мааниси заттын өлчөмүнөн, тегинен жана аны ысытуунун жолдорунан көз каранды.

Ошондуктан практикада ар бир зат үчүн *салыштырма* ($C_m = \frac{C_x}{m}$) жана

молдук ($C_\mu = \frac{C_x}{\nu} = \frac{\mu}{m} C_x$) жылуулук сыйымдуулуктарды өзүнчө аныкташат.

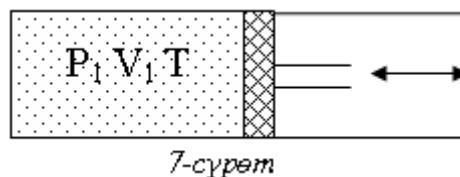
Алар өз ара

$$C_m = \frac{C_\mu}{\mu} \quad (2.4.6)$$

формуласы аркылуу байланышат. Газдарда бул жылуулук сыйымдуулуктардын ар бири, газды ысытуунун шартына жараша,

турактуу көлөм кезиндеги (C_v) жана турактуу басым кезиндеги (C_p) салыштырма же молдук жылуулук сыйымдуулуктар деп конкреттештирилип айтылышы зарыл. Ошондуктан жылуулук санын аныктоочу (2.4.5)-теңдеменин айкын көрүнүшү жогоруда саналган жылуулук сыйымдуулуктардын кайсынысын колдонуп жаткандыгыбызга жараша болот.

Эми идеалдуу газда жүрүүчү ар түрдүү изопроцесстерди термодинамиканын биринчи законунун жардамында изилдеп көрөлү. Изилденүүчү газ жеңил кыймылга келүүчү поршени бар цилиндрде камалган болсун (7-сүрөт).



Мындан аркы эсептөөлөр жеңил, формулалар жөнөкөй болсун үчүн идиштеги газдын өлчөмү 1 молго барабар болсун дейли жана ал процесстин жүрүшүндө өзгөрбөсүн.

Бул учурда сөз газдын *молдук жылуулук сыйымдуулугу* жөнүндө гана жүрөт, ошондуктан C нын алдындагы индекс катары газ жылуулук алмашып жаткан учурда турактуу сакталган параметрди гана көрсөтөлү. Зарыл болгон учурда алынган натыйжаларды каалаган өлчөмдөгү газдар үчүн оңой эле жалпылап алууга болот.

$\nu = m/\mu = 1 \text{ моль}$ өлчөмдөгү идеалдуу газ үчүн абалдын (2.4.3)-теңдемеси төмөнкүдөй жөнөкөй түргө келет:

$$PV = RT . \quad (2.4.7)$$

• **Изохоралык процессте**, б.а. газ турактуу көлөм ($V = const$) кезинде бир абалдан башкасына өткөндө жумуш аткарылбайт: $\delta A = PdV = 0$, анткени $dV = 0$. Анда термодинамиканын биринчи закону $\delta Q = dU$ көрүнүшүндө жазылат, б. а. бул шартта *газга берилген жылуулук саны толугу менен анын ички энергиясын жогорулатууга гана сарпталат*. Газдын турактуу көлөм кезиндеги молдук жылуулук сыйымдуулугу, аныктоо боюнча

$$C_v = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_v = \frac{dU}{dT} , \quad (2.4.8)$$

мындан

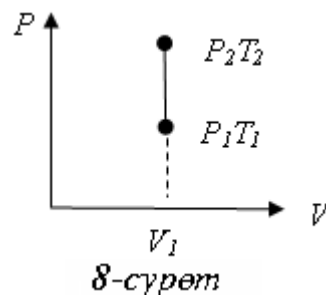
$$dU = C_v dT ,$$

демек

$$\delta Q = C_v dT \quad (2.4.9)$$

туюнтмаларына ээ болобуз.

Изохоралык процесстеги газдын басымы менен температурасынын байланышы *Шарлдын* $\frac{P}{T} = \frac{R}{V} = const$ *закону* боюнча аныкталат жана көз карандылык PV - диаграммасында 8-



сүрөттөгүдөй көрүнүштө болот.

• Газды **изобаралык шартта**, б.а. басымын турактуу сактап ысытканда ага берилген жылуулук санынын бир бөлүгү анын ички энергиясын жогорулатууга, ал эми калган бөлүгү -газ кеңейип, сырткы күчтөргө каршы жумуш аткарууга сарпталат:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

же, бул учурда $\delta Q = C_p dT$, $dU = C_v dT$ жана $\delta A = PdV$ экендигин эске алсак, анда

$$\delta Q = C_p dT = C_v dT + PdV. \quad (2.4.10)$$

Мындан газдын турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулугу

$$C_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_p = \frac{C_v dT + PdV}{dT}$$

же

$$C_p = C_v + P \frac{dV}{dT}, \quad (2.4.11)$$

Бул туюнтманы жөнөкөйлөштүрөлү. Идеалдуу газ үчүн анын абалынын (2.4.7) теңдемесинен $P = const$ шартында

$$\frac{dV}{dT} = \frac{R}{P} = const,$$

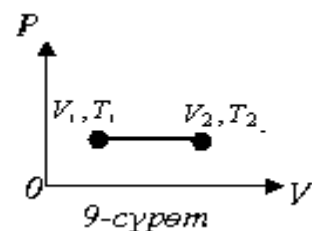
б. а. газдын көлөмү анын температурасына пропорциялаш өзгөрөт (*Гей-Люссактын закону*), PV -диаграммасында бул көз карандылык абцисса огуна жарыш түз сызык көрүнүшүндө болот (9-сүрөт).

Анда

$$C_p = C_v + R. \quad (2.4.12)$$

(2.4.12)-формула идеалдуу газдын турактуу басым жана турактуу көлөм кезиндеги молдук жылуулук сыйымдуулуктарынын өз ара байланышын аныктайт жана *Майердин теңдемеси* деп аталат.

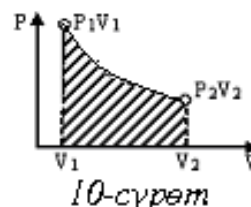
(2.4.12)-теңдемеден $C_p > C_v$, 1 моль идеалдуу газ үчүн алардын айырмасы R ге барабар экендигин байкоого болот. Анын себеби жөнөкөй. Аныктоо боюнча жылуулук сыйымдуулук - газдын температурасын



1 градуска жогорулатуу үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны. Газдын көлөмү турактуу сакталган учурда жумуш аткарылбайт да, ага берилген жылуулук саны толугу менен анын ички энергиясын жогорулатууга гана сарпталат. Басымы турактуу сакталган газга берилген жылуулуктун бир бөлүгү анын жумушуна сарпталып кетип, газды мурдагыдай эле 1 градуска ысытуу үчүн көбүрөөк энергия талап кылынат. Бул жалпылоолордон *универсалдуу газ турактуулугу R дин физикалык мааниси* аныкталат: 1 моль өлчөмүндөгү газдын изобаралык шартта 1

градуска ысыганда кеңейип аткарган жумушу R ге барабар. Идеалдуу газ үчүн ал жумуштун чоңдугу $8,31 \text{ Дж}$ го тең, ал эми реалдуу газдардын аткарган жумушу мындан кичине жана газдын тегинен көз каранды.

• Эми газдын абалын анын температурасын турактуу сактап, б. а. **изотермалык** түрдө, өзгөртөлү. Бул учурда газдын ички энергиясы өзгөрбөйт: $dU = 0$, $U = const$. Себеби, идеалдуу газдын ички энергиясы анын бөлүкчөлөрүнүн жылуулук кыймылынын кинетикалык энергияларынын гана суммасына барабар. Температура өзгөрбөсө молекулалардын орточо кинетикалык энергиясы, демек, газдын ички энергиясы да өзгөрбөйт. Изотерма процесси үчүн термодинамиканын биринчи закону



$$\delta Q = \delta A \quad \text{же} \quad C_T dT = PdV$$

көрүнүшүндө жазылат. Демек, газга берилген жылуулук саны толугу менен газдын жумуш аткаруусуна сарпталат.

Изотермалык процесстин графиги, Бойль- Мариоттун законуна ылайык, $PV = const$ шартын канааттандырган ийри (10-сүрөт) көрүнүшүндө болот.

Бул учурдагы газдын жылуулук сыйымдуулугу

$$C_T = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_T = \frac{\delta Q}{0} = \pm \infty .$$

Чексиз жылуулук сыйымдуулукка ээ болушкан системаларды **термостаттар** деп аташат, алардын температурасын 1 градуска жогорулатуу үчүн чексиз чоң жылуулук талап кылынат жана тескерисинче, термостат бир градуска муздаса андан чексиз көп жылуулук бөлүнүп чыгат. Көпчүлүк учурда ушул эле ойду башка сүйлөм аркылуу – мындай системадан канчалык көп жылуулук бөлүп алсаң да, же, тескерисинче ага өтө көп жылуулук берсең да системанын температурасы дээрлик өзгөрбөйт деп айтышат. Дүйнөлүк океандагы суу ушул талаптарга жооп берет десек болот.

Мына ошентип, C_p жана C_V чоңдуктары газдардын маанилүү мүнөздөмөлөрүнөн болушат, ал эми алардын катышы $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$

термодинамиканын көпчүлүк теңдемелерине кирет. Ошондуктан түрдүү газдардын турактуу басым жана турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулуктарын жана алардын катышын аныктоо физиканын маанилүү маселелеринен болуп эсептелет.

Жогоруда сөз болгон изопроцесстерди тажрыйбада ишке ашыруу өтө кыйын. Ал үчүн системанын абалын, система убакыттын ар бир

моментинде тең салмактуу абалда боло тургандай кылып, өтө жай өзгөртүү керек, б.а. изопроцесстер *тең салмактуу процесстер* болушат, ал эми реалдуу турмушта тең салмактуу процесстер дээрлик кездешпейт. Анткени, реалдуу процесстер кыйла тез, чектүү ылдамдыкта жүрөт.

Реалдуу процесстердин арасынан система аны курчап турган айлана - чөйрө менен жылуулук алмашууга үлгүрбөй тургандай тездикте жүрүүчү процесстер өзгөчө кызыкчылыктарды туудурат.

Газдардагы жылуулук алмашуусуз ($\delta Q = 0$) жүрүүчү процесстерди *адиабаттык процесстер* деп аташат. Бул учурда термодинамиканын биринчи закону

$$-dU = \delta A \quad \text{же} \quad -C_v dT = PdV$$

көрүнүшүнө келет. Акыркы теңдемеден

$$dT = -\frac{P}{C_v} dV . \quad (2.4.13)$$

(2.4.13)-формуладагы $P > 0, C_v > 0$ болушкандыктан, газ адиабаттык түрдө кеңейгенде муздай тургандыгын ($dT < 0$) жана, тескерисинче, газды адиабаттык жол менен кысканда ал ысып кетерин ($dT > 0$) көрүүгө болот. Муну адиабаттык кеңейген газ жумушту өзүнүн ички энергиясынын азайуусунун эсебинен аткаары, ал эми газды адиабаттык түрдө кысып жаткан сырткы күчтөрдүн жумушу толугу менен газдын ички энергиясын жогорулатууга жумшалары менен түшүндүрөбүз.

Газдын адиабаттык процесстеги жылуулук сыйымдуулугу

$$C_{ad} = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_{ad} = \frac{0}{dT} = 0 \quad \text{болот.}$$

Адиабаттык процессте газдын басымы, көлөмү жана температурасы да өзгөрүп барат. Алардын ортосундагы байланыш *Пуассондун теңдемелеринин* жардамында аныкталат. Аларды келтирип чыгаралы.

1 моль идеалдуу газдын абалынын (2.4.7)-теңдемесин андагы P, V жана T адиабаттык процессте өзгөрмөлүү чоңдуктар экендигин эске алып дифференциалдайлы:

$$PdV + VdP = RdT$$

же, кошулуучуларды топтоштурсак

$$PdV - RdT + VdP = 0 . \quad (2.4.14)$$

(2.4.13)-формуладан dT нын маанисин (2.4.14)-теңдемеге коюп

$$PdV + R \frac{P}{C_v} dV + VdP = 0$$

ээ болобуз. Мындан $\left(1 + \frac{R}{C_v} \right) PdV + VdP = 0$ же $\frac{C_v + R}{C_v} PdV + VdP = 0$.

Майердин теңдемесинен $C_V + R = C_P$,

анда $\frac{C_P}{C_V} P dV + V dP = 0$ же $\gamma P dV + V dP = 0$.

Акыркы барабардыктын эки жагын тең PV га бөлүп, биринчи тартиптеги дифференциалдык теңдемени алабыз:

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

аны интегралдап $\gamma \ln V + \ln P = const$

же Пуассондун

$$PV^\gamma = const \quad (2.4.15)$$

теңдемесине ээ болобуз. Газ абалынын (2.4.7)-теңдемесин колдонуп, (2.4.15)-теңдемени V, T жана P, T аркылуу оңой эле туюнтуп алууга болот (өз алдыңарча аткарууну сунуш кылабыз).

Пуассондун теңдемесиндеги $\gamma = C_P/C_V$ - *адиабата көрсөткүчү* деп аталат: $\gamma > 1$. Анын сандык чоңдугу газдын молекулаларынын түзүлүшүнөн жана температурадан көз каранды. Бул көз карандылык газдардын жылуулук сыйымдуулуктарынын кванттык теориясынын негизинде гана түшүндүрүлүшү мүмкүн. Азыр биз C_P, C_V жана γ ны аныктоонун классикалык теориясы менен таанышып алалы.

2. Газдардын жылуулук сыйымдуулугунун классикалык теориясынын элементтери

C_V чоңдугун аныктоо үчүн (2.4.8)-формулага ылайык газдын ички энергиясын билүү зарыл. Идеалдуу газдын ички энергиясы анын молекулаларынын жылуулук кыймылынын энергияларынын суммасына барабар:

$$U = \sum_{\kappa=1}^N \varepsilon_{\kappa}.$$

Энергиянын эркиндик даража саны боюнча бирдей бөлүштүрүлүшү жөнүндөгү классикалык теориянын негизинде молекуланын жылуулук кыймылына катышкан ар бир эркиндик даража санына орто эсеп менен бирдей жана $\frac{1}{2}kT$ энергиясы туура келерин эске алып, эркиндик даражаларынын жалпы саны i болгон бир молекуланын энергиясы үчүн

$$\varepsilon_{\kappa} = \frac{i}{2}kT$$

туюнтмасына ээ болобуз.

Анда бирдей молекулалардан турган $\nu = 1$ моль өлчөмүндөгү

(демек, $N = N_A$) идеалдуу газдын ички энергиясы

$$U = N_A \varepsilon_k = \frac{i}{2} k N_A T = \frac{i}{2} RT \quad \text{га барабар.}$$

Муну (2.4.8)-формулага коюп, $V = const$ кезинде дифференциалдап, төмөнкүгө ээ болобуз:

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = \frac{i}{2} R, \quad (2.4.16)$$

ал эми Майердин (2.4.12)-теңдемесинин негизинде

$$C_p = C_V + R = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (2.4.17)$$

Анда

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{\frac{i+2}{2} R}{\frac{i}{2} R} = \frac{i+2}{i}. \quad (2.4.18)$$

Демек, жогоруда талкууланган классикалык көз карашка ылайык, идеалдуу газдардын жылуулук сыйымдуулуктары жана алардын катышы γ газдын температурасына көз каранды болбогон турактуу чоңдуктар. Алардын мааниси молекулалардын эркиндик даража саны менен аныкталат.

Абанын молекулаларынын бөлмө температурасындагы эркиндик даража саны $i = 5$, анткени аба негизинен эки атомдуу молекулалардан турат жана алар алга умтулуу жана айлануу кыймылдарына катышышат. Ошондуктан абанын молекулалары үчүн γ нын күтүлүүчү мааниси

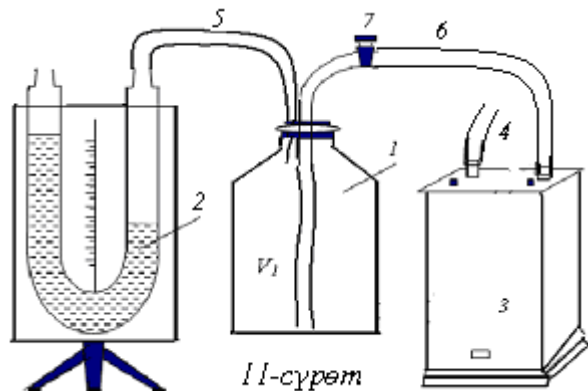
$$\gamma = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5} = 1,4.$$

Бул иште аба үчүн γ нын маанисин тажрыйба жолу менен аныктайбыз.

Эксперименталдык курулма жана ишти аткаруунун усулу

Курулма «4», «5», «6» резина түтүктөрдүн жардамында «2» суюктук манометрине жана «3» Комовскийдин насосун туташтырылган «1» айнек идиштен, «7» кыскачтан турат (11-сүрөт).

Идиштеги абанын



температурасын T_0 , баштапкы басымын P_0 менен белгилейли, ал бөлмөдөгү абанын басымына барабар. Идишке насостун жардамында кошумча аба киргизели. Бул учурда идиштеги абанын басымы жогорулап $P_1 = P_0 + \Delta P_1$ ге жетет, температурасы да бир аз көтөрүлөт, көлөмү идиштин көлөмү V_1 ге барабар. Мында ΔP_1 - идиштеги артыкча басым, ал манометрдин көрсөтүүсү боюнча аныкталат.

Жылуулук алмашуунун натыйжасында идиштеги абанын температурасы кайрадан бөлмөдөгү абанын температурасына теңелген кезде кыскачты ачып идиштеги ашыкча абаны бөлмөгө чыгаралы. Бул кубулуш идиштеги белгилүү массадагы абанын көлөмүнүн V_1 ден V_2 ге чейин адиабаттык кеңейүүсүнө тең күчтүү болот. Аба кеңейгенде анын басымы P_1 ден $P_2 = P_0$ гө чейин төмөндөйт. Анда Пуассондун теңдемеси

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad \text{же} \quad P_0 + \Delta P_1 V_1^\gamma = P_0 V_2^\gamma.$$

Мындан

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \frac{P_0}{P_0 + \Delta P_1}. \quad (2.4.19)$$

Тез кеңейгендиктен идиштеги абанын температурасы да кошо төмөндөп, кыскач жабылгандан белгилүү убакыттан кийин кайрадан бөлмөдөгү аба менен жылуулук тең салмактуулукка келет. Бул мезгилде идиштеги абанын басымы $P_3 = P_0 + \Delta P_2$ чейин көтөрүлөт. Идиштеги абанын кошумча басымы ΔP_2 манометрдин көрсөтүүсү боюнча аныкталат.

Идиштеги абанын кеңейгенге чейинки жана тез кеңейип, жылуулук тең салмактуулукка жетишкен акыркы абалдарынын температуралары бирдей ($T = T_0$) болгондуктан бул абалдарга Бойль-Мариоттун законун колдонуп

$$P_0 + \Delta P_1 V_1 = P_0 + \Delta P_2 V_2$$

туюнтмасына ээ болобуз. Мындан

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_0 + \Delta P_2}{P_0 + \Delta P_1},$$

же барабардыктын эки жагын тең γ даражасына көтөрүп,

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \left(\frac{P_0 + \Delta P_2}{P_0 + \Delta P_1}\right)^\gamma. \quad (2.4.20)$$

(2.4.19) - (2.4.20)-туюнтмаларды салыштырып

$$\frac{P_0}{P_0 + \Delta P_1} = \left(\frac{P_0 + \Delta P_2}{P_0 + \Delta P_1}\right)^\gamma.$$

Бул барабардыктын эки жагын тең логарифмалайбыз:

$$\lg \frac{P_0}{P_0 + \Delta P_1} = \gamma \lg \left(\frac{P_0 + \Delta P_2}{P_0 + \Delta P_1} \right) .$$

Мындан

$$\gamma = \frac{\lg \frac{P_0}{P_0 + \Delta P_1}}{\lg \frac{P_0 + \Delta P_2}{P_0 + \Delta P_1}} = \frac{\lg \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_1}{P_0}}}{\lg \frac{1 + \frac{\Delta P_2}{P_0}}{1 + \frac{\Delta P_1}{P_0}}} = \frac{\lg 1 - \lg \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \right)}{\lg \left(1 + \frac{\Delta P_2}{P_0} \right) - \lg \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \right)} .$$

$\lg 1 = 0$, $\Delta P_1 \ll P_0$, $\Delta P_2 \ll P_0$ экендигин эске алып, $x \ll 1$ учуру үчүн

$\lg(1+x) \approx x$ формуласынын жардамында

$$\gamma \approx \frac{-\frac{\Delta P_1}{P_0}}{\frac{\Delta P_2}{P_0} - \frac{\Delta P_1}{P_0}} \approx \frac{\Delta P_1}{P_0} \cdot \frac{P_0}{\Delta P_1 - \Delta P_2} = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_2} \quad (2.4.21)$$

теңдемесине ээ болобуз.

ΔP_1 жана ΔP_2 ашыкча басымдардын мааниси манометрдин муунактарындагы суюктуктардын деңгээлдеринин айырмасы h_1 жана h_2 аркылуу аныкталат. Манометрдеги суюктуктун тыгыздыгы ρ болсо, анда

$$\Delta P_1 = \rho g h_1, \quad \Delta P_2 = \rho g h_2 .$$

Аны (2.4.21)-формулага коюп төмөнкүдөй жөнөкөй жумушчу формулага ээ болобуз:

$$\gamma \approx \frac{h_1}{h_1 - h_2} . \quad (2.4.22)$$

Ишти аткаруунун тартиби

1. Идишке Комовскийдин насосун жана манометрди 11-сүрөттө көрсөтүлгөндөй кылып туташтыргыла.
2. Насостун жардамында манометрдеги суюктуктун деңгээлдеринин айырмасы 50-60 мм ге жеткенге чейин акырындык менен аба киргизип, кыскачты жапкыла да түтүктү насостон ажыраткыла.
3. Идиштеги абанын температурасы бөлмөдөгү абанын температурасына теңелгиче 5-7 минута күткөндөн кийин манометрдеги суюктуктун деңгээлдеринин айырмасы h_1 ди өлчөп алгыла.
4. Кыскачты кыска убакытка – идиштеги абанын басымы бөлмөдөгү абанын басымына теңелгиче ачып, кайра бекиткиле.
5. Манометрдеги суюктуктун деңгээлдеринин айырмасы кайрадан

максимумга жеткенде h_2 ни өлчөп алгыла. (2.4.22)-формулананы пайдаланып, γ ны эсептегиле.

6. Тажрыйбаны 5-7 жолу кайталагыла. Алынган натыйжаларды таблицкага түшүргүлө.

чоңдуктар	h_1	h_2	γ	$\bar{\gamma}$	$\Delta\gamma$	$\Delta\bar{\gamma}$	$\frac{\Delta\bar{\gamma}}{\bar{\gamma}} 100\%$
чен бирдиги							
1.							
2.							
3.							

Тыянак: бөлмөдөгү абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышы $\gamma_s = \bar{\gamma} \pm \Delta\bar{\gamma} = \underline{\hspace{2cm}}$ анын теориялык мааниси $\gamma_T = \frac{i+2}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$ караганда $\underline{\hspace{2cm}}$. Бул айырмачылыктын келип чыгышы $\underline{\hspace{2cm}}$ менен түшүндүрүлөт.

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Нерсенин жылуулук сыйымдуулугу, салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, молдук жылуулук сыйымдуулугу деген эмне жана алар өз ара кандайча байланышат?
2. Жылуулук сыйымдуулуктар кайсы чен бирдиктер аркылуу туюнтулушат?
3. Газдардын турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулугу C_p анын турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулугу C_v дан чоң болушунун себебин түшүндүргүлө.
4. C_p , C_v жана γ ны жылуулук сыйымдуулуктун классикалык теориясы боюнча кантип эсептешет?
5. PV диаграммасын пайдаланып адиабаттык жана изотермалык процесстердин ийрилеринин айырмачылыгын түшүндүргүлө.
6. Пуассондун теңдемесинин P, T жана V, T аркылуу туюнтулган көрүнүштөрүн келтирип чыгаргыла.
7. Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын аныктоо үчүн бул иште тандап алган ыкмаңарды негиздегиле.
8. Бирдей жылуулук энергиясынын эсебинен кандай шартта кеңейген газ көп жумуш аткарат? Жообуңарды негиздегиле.

2.5. АБАНЫН ЖЫЛУУЛУК СЫЙЫМДУУЛУКТАРЫНЫН КАТЫШЫН ҮНДҮН АБАДА ТАРАЛУУ ЫЛДАМДЫГЫ БОЮНЧА АНЫКТОО

Иштин максаты: үндүн абадагы таралуусун изилдөө; туруучу толкун усулу менен үндүн абадагы ылдамдыгын, абанын турактуу басым жана турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын аныктоо.

Иштин жабдылышы: поршени бар цилиндр формасындагы түтүк, үн генератору, осциллограф, үн тараткыч, үн кабылдагыч (микрофон), сызгыч.

Иштин кыскача теориясы

Сырткы дүүлүктүрүүнүн мүнөзүнө жараша ар кандай чөйрөдө, мисалы, абада, механикалык, жылуулук ж.б. кубулуштар айрым-айрым же чогуу жүрүшү бизге белгилүү. Конкреттүү алынган чөйрөдө болуп өтүүчү түрдүү табияттагы кубулуштар ал чөйрөнүн структурасы, молекулаларынын өзгөчөлүктөрү ж.б. менен байланышкан кандайдыр-бир жалпылыктарга ээ. Мындай жалпылыктарды билүү чөйрөнүн кайсы бир касиетин мүнөздөгөн чоңдуктардын маанисин анын башка касиетин мүнөздөгөн чоңдуктар аркылуу аныктап алууга жардам берет.

Бул иште үн толкундарынын абада таралуу процессин механикалык жана термодинамикалык көз караштардын чегинде изилдеп, үндүн ылдамдыгынын (ν) абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышы (γ) жана температурасы (T) менен байланышын келтирип чыгарабыз. Тажрыйбалык жол менен үндүн ылдамдыгын, аны пайдаланып абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын аныктайбыз.

Үн толкундары (механикалык толкундар) серпилгичтүү чөйрөлөрдө таралат. Эгерде туташ серпилгичтүү чөйрөнүн кандайдыр бир чекитинде артыкча ΔP басымы түзүлсө, анда чөйрөнүн бул абалы «катып» калбастан туш тарапты көздөй белгилүү бир ылдамдык менен тарала баштайт, б.а. механикалык толкун жаралат. Артыкча басым алгач чөйрөнүн кичине бөлүгүн кысып деформациялайт. Натыйжада ошол жердеги заттын тыгыздыгы жогорулап, молекулалары өз ара жакындашат. Бул өз кезегинде, молекулалардын ортосунда күчтүү түртүшүүнү жаратат. Түртүшүү күчүнүн таасири кийинки катмарларга берилип, чөйрөдө деформация, демек, толкун тарайт. Бул процессте серпилгичтүү чөйрөнүн бөлүкчөлөрүнүн термелүү багыттары толкундун таралуу багытына дал келет, б.а. серпилгичтүү чөйрөдө

узунунан кеткен толкун таралат.

Эгерде чөйрөнүн кайсы бир бөлүгүндө кысылуу жана «созулууларды» (сейректөөлөрдү) кезектешип түзүп турса чөйрөдө үзгүлтүксүз механикалык толкун пайда болот. Эгерде артыкча басым мезгилдүү закон боюнча өзгөрсө, анда бул учурда пайда болгон толкундун ар бир чекитин мүнөздөөчү бардык параметрлер да мезгилдүү өзгөрүшөт. Мисалы, толкун - параметрлеринин өзгөрүшүнүн белгилүү жыштыгы менен мүнөздөлөт.

Серпилгичтүү чөйрөдө таралуучу жыштыгы 20 Гц тен 20000 Гц ке чейинки узунунан кеткен толкундарды адамдын угуу органдары сезет жана алар *үн толкундары* деп аталышат. Үн толкундары катуу нерсенин, пластинанын (мембрананын) ар кандай, анын ичинде гармоникалык, термелүүлөрүнүн эсебинен дүүлүгөт.

Серпилгичтүү чөйрөдө таралып жаткан узунунан кеткен толкундун ылдамдыгы

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.5.1)$$

формуласы боюнча аныкталары механикадан белгилүү, мында E – чөйрөнүн Юнг модулу, ρ - чөйрөнүн тыгыздыгы.

Юнгдун модулу чөйрөнүн сызыктуу деформациясынын чыңалуудан көз карандылыгынан аныктоого болот:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \sigma,$$

мында $\frac{\Delta l}{l}$ - чөйрөнүн (мисалы, стержендин) салыштырма узаруусу;

$\frac{F}{S} = \sigma$ – деформациялоочу күчтүн чөйрөнүн (стержендин)

туура кесилиш аянтына болгон катышы. Бул катыш стержендин туура кесилишинин бирдик аянтына аракет эткен деформациялоочу күчкө барабар жана *күчтүн чыңалуусу* деп аталат.

Акыркы формуладан

$$E = \frac{\sigma}{\Delta l / l} \quad (2.5.2)$$

Бул формуланы үн таралып жаткан абага колдонолу. Абадагы күчтүн чыңалуусунун ролун «артыкча басым» аткарат: $\sigma \Rightarrow \Delta P$. Үн толкуну таралып жаткан туурасынан кесилиши турактуу аба мамычасынын узундугунун салыштырмалуу өзгөрүүсү анын көлөмүнүн салыштырмалуу өзгөрүүсүнө барабар:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta l S}{l S} = \frac{\Delta V}{V}.$$

Анда (2.5.2)-теңдемени

$$E = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V},$$

же басымдын жана көлөмдүн чексиз кичинекей өзгөрүүсүнө өтүп,

$$E = -\frac{dP}{dV/V} = -V \frac{dP}{dV} \quad (2.5.3)$$

көрүнүшүндө жазууга болот. Мында «-» белгиси басым артканда ($dP > 0$) газдын көлөмү азайышын ($dV < 0$) көрсөтөт.

Үн толкунунун жыштыгы жетиштүү даражада чоң болгондуктан, ал таралып жаткан газдын басымы жана көлөмү тез өзгөрөт. Ошондуктан үндүн абада таралуу процессин Пуассондун

$$PV^\gamma = const \quad (2.5.4)$$

теңдемеси менен мүнөздөлүүчү адиабаттык процесс катары эсептесек

болот, мында

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

газдын турактуу басым кезиндеги C_p жылуулук сыйымдуулугунун турактуу көлөм кезиндеги C_v жылуулук сыйымдуулугуна болгон катышы.

Пуассондун (2.5.4)-теңдемесин дифференциалдап

$$V^\gamma dP + \gamma PV^{\gamma-1} dV = 0$$

теңдемесин алабыз. Акыркы теңдемеден

$$\frac{dP}{dV} = -\gamma \frac{P}{V}$$

ээ болобуз.

$\frac{dP}{dV}$ - нын бул табылган маанисин (2.5.3)-формулага коюп

$$E = \gamma P \quad (2.5.5)$$

барабардыгына ээ болобуз. Аны (2.5.1)-формулага коюп, үндүн абада таралуу ылдамдыгы үчүн

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (2.5.6)$$

формуласына ээ болобуз.

Менделеев-Клапейрондун теңдемесин пайдаланып абанын тыгыздыгын табалы:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}.$$

Анда (2.5.6)-формула төмөнкүдөй көрүнүшкө келет:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$$

Мындан абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын табууга болот:

$$\gamma = \frac{\mu v^2}{RT} \quad (2.5.7)$$

Мына ошентип, абанын температурасын жана андагы үндүн таралуу ылдамдыгын аныктоо аркылуу (2.5.7)-формуланын жардамында абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын эсептей алабыз.

Толкундун таралуу ылдамдыгы

$$v = \frac{S}{t} = \frac{N\lambda}{NT} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu \quad (2.5.8)$$

формуласы боюнча аныкталат, мында λ - толкун узундугу, ν - толкундун жыштыгы, T - толкундун термелүү мезгили, N - S аралыгына туура келген толук термелүүлөрдүн саны. Демек, абада таралуучу үн толкунунун жыштыгы ν белгилүү болсо анда үндүн таралуу ылдамдыгын аныктоо үчүн анын толкун узундугун (λ) билишибиз керек. Бул максатта туруучу толкундун өзгөчөлүктөрүн пайдаланабыз.

Эгерде үн толкундарын ички бетине тыгыз кептелип турган кыймылдуу поршени бар цилиндрдеги абада дүүлүктүрсөк анда ал поршенден кайра чагылып артка карай таралат да түз багыттагы толкунга кабатталат. Аба мамычасынын узундугу үндүн толкун узундугунун тең жарымына эселүү болгон учурларда, б.а. $l = n \frac{\lambda}{2}$

болгондо, мында λ - үн толкунунун узундугу, $n = 1, 2, 3$ - бүтүн сан, түтүкчөдө туруучу толкун пайда болот. Үндүн жыштыгын өзгөртпөй туруп поршенди жылдыруу аркылуу түтүкчөдө бир катар туруучу толкун абалдарын байкоого болот. Ал абалдар түтүктүн узундугу аркылуу төмөнкүдөй туюнтулат:

$$l_n = n \frac{\lambda}{2}; \quad l_{n+1} = (n+1) \frac{\lambda}{2}, \dots, \dots, l_{n+k} = (n+k) \frac{\lambda}{2}.$$

Мына ошентип, туруучу толкун байкалган эки коңшулаш абалдардын арасындагы аралык:

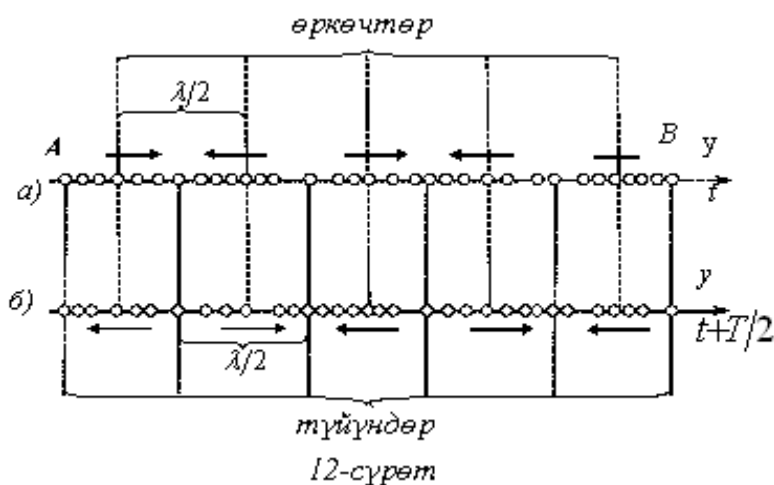
$$\Delta l = (n+1) \frac{\lambda}{2} - n \frac{\lambda}{2} = (n+1-n) \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad \text{ге барабар.}$$

Цилиндр формасындагы түтүктө туруучу үн толкуну түзүлгөн кезде толкундун поршенге тийип турган чекити анын *түйүнү* болот. Анткени, толкун тоскоолдуктан чагылганда фазасын карама-каршыга өзгөртөт. Түшкөн жана чагылган толкундар ал чекитте карама-каршы фазаларда болушкандыктан, бирин-бири начарлатышат.

12-сүрөттө түтүкчөдөгү абада узунунан кеткен туруучу толкун схемалык түрдө көрсөтүлгөн. Мында A чекити цилиндрдин ачык учуна, ал эми B чекити поршендин бетине туура келет.

Сүрөттөгү «а» жана «б» учурлары туруучу толкунда чөйрөнүн бөлүкчөлөрүнүн убакыттын термелүүнүн жарым мезгилине айырмаланган моменттериндеги абалдарын чагылдырат. Аларды өз ара салыштыруудан түйүндөрдүн чекебелинде чөйрөнүн тыгыздыгы мезгилдүү өзгөрүп турарын байкоого болот: бир түйүндөн бөлүкчөлөр эки жакка алысташса, ошол эле учурда коңшу түйүнгө эки жактан жакындашат. Бул процесс термелүү мезгилинин экинчи жарымында карама-каршы багытта кайталанат.

Эгерде түтүктүн бир учу поршень менен тосулуп, экинчи учу ачык болсо, анда түтүктө туруучу толкун түзүлгөндө анын ачык учуна толкундун түйүнү же «өркөчү» туура келет. Ошондуктан үн кабыл алгычты

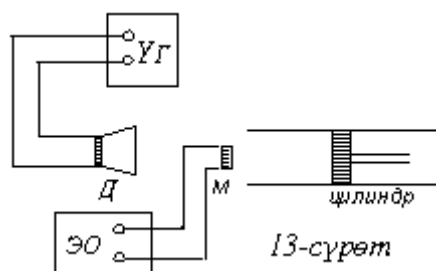


түтүктүн ачык учуна жайгаштырып, поршенди түтүктү бойлото жылдырсак ал жерде кезеги менен туруучу толкундун түйүндөрүн жана өркөчтөрүн байкай алабыз. Түйүндөр үн толкунунун интенсивдүүлүгүнүн минимумуна, ал эми өркөчтөр максимумуна туура келет.

Эксперименталдык курулма жана ишти аткаруунун усулу

Курулма кыймылдоочу поршени бар металл цилиндр түтүгүнөн турат (13-сүрөт).

Түтүктүн ачык учунун алдына үн генераторуна (ҮГ) туташтырылган үн таркаткыч (динамик – Д) коюлган. Түтүктүн бул учуна, аны толук тосуп калбагандай абалда микрофон (М) жайгаштырылат. Микрофондун зымдары электрондук осциллографтын нурду вертикалдык багытта жаюучу (У) кысыкчытарына туташтырылат.



Осциллографты электр чынжырына кошуп, тиешелүү жөндөгүчтөрдүн жардамында анын экранынын ортосунда даана горизонталдык жарык тилкесин алууга жетишебиз. Үн генераторунан үндүк жыштыктагы $300 \div 500 \text{ Гц}$ электрдик сигналды үн таркаткычка берип, абада тиешелүү жыштыктагы үндү дүүлүктүрөбүз, анын бийиктигин тандап алабыз.

Бул учурда осциллографтын экранындагы жарык тилкеси үн жыштыгындагы синусоидага айланат. Тиешелүү жөндөгүчтөрдүн жардамында анын амплитудасын даана сезилгендей деңгээлге жеткиребиз, сүрөт экранда жылбагандай абалга жетишебиз. Түтүктөгү поршенди акырындык менен жылдырып, синусоиданын амплитудасынын өзгөрүүсүн байкайбыз.

Үндүн бийиктигин, осциллографтын сезгичтигин жана анын экранындагы сүрөттүн (графиктин) өлчөмдөрүн өзүбүзгө ыңгайлуу деңгээлге жеткирип алгандан кийин түздөн-түз ченөөлөрдү баштоого болот.

Поршенди түтүктү бойлото акырын жылдырып, анын осциллографтын экранында сигналдын максимумдары (же минимумдары) байкалган абалдары белгиленет жана ал окшош абалдардын арасындагы орточо аралык Δl аныкталат. Бул аралык, жогоруда белгилегендей, таралып жаткан үндүн толкун узундугунун жарымына барабар болот. Үндүн жыштыгын жана толкун узундугун аныктап

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

формуласы аркылуу үндүн абадагы ылдамдыгын жана

$$\gamma = \frac{\mu v^2}{RT}$$

формуласы аркылуу абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын аныктоого болот.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Курулма менен таанышкыла. Үн генератору жана осциллограф менен иштөөнүн усулу боюнча окутуучудан кеңеш алгыла.
2. Үн генераторун жана осциллографты электр чынжырына туташтырып, аларды ишти аткаруунун усулунда белгилегендей жөнгө салгыла.
3. Үн генераторунан жыштыгы $\nu = 500 \text{ Гц}$ болгон электрдик сигналды микрофонго бергиле.

4. Поршенди түтүктү бойлото жылдырып, коңшулаш түйүндөрдүн (же өркөчтөрдүн) арасындагы аралыктарды ченегиле, алардын $\overline{\Delta l}$ орточо маанисин эсептегиле жана $\overline{\Delta l} = \frac{\lambda}{2}$ барабардыгын колдонуп, үндүн толкун узундугун (λ) аныктагыла.
5. Үндүн абадагы ылдамдыгын эсептегиле.
6. Бөлмөдөгү абанын температурасын аныктагыла.
7. (2.5.7)-формуланын жардамында абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын (γ) эсептеп чыгаргыла. Абанын молдук массасы $\mu = 0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.
8. Үндүн жыштыгын өзгөртүп, тажрыйбаны бир нече жолу кайталагыла, ар бир учур үчүн ν жана γ ны эсептегиле.
9. Тажрыйбалардын натыйжаларын таблицага түшүргүлө:

чоңдуктар	ν	$\overline{\Delta l}$	λ	ν	γ	$\bar{\gamma}$	$\Delta\gamma$	$\overline{\Delta\gamma}$	$\frac{\overline{\Delta\gamma}}{\bar{\gamma}} \cdot 100\%$
чен бирдиги									
1.									
2.									
3.									

Тыянак: $\gamma_{\text{э}} = \bar{\gamma} \pm \overline{\Delta\gamma} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышынын теориялык мааниси $\gamma_T = \frac{i+2}{i} = \underline{\hspace{2cm}}$. $\gamma_{\text{э}}$ нин γ_T дан чоң (же кичине) болуп калышынын себебин төмөнкүчө түшүндүрөбүз:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Газдын жылуулук сыйымдуулуктары деген эмне жана ал эмнелерден көз каранды?
2. Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышын бул иште кантип аныктадынар? γ ны аныктоонун дагы кандай жолдорун билесиңер?
3. Кайсы жагдай үндүн абада таралуусун адиабаттык процесс катары кароого мүмкүндүк берет?
4. Абанын жылуулук сыйымдуулуктарынын катышы анын температурасынан көз каранды болобу? Жообуңарды негиздегиле.

2.6. СУЮКТУКТАРДЫН БЕТТИК ТАРТЫЛУУ КОЭФФИЦИЕНТИН АНЫКТОО

Иштин максаты: суюктуктардын беттик тартылуу коэффициенттерин түрдүү усулдардын жардамында аныктоо; суюктуктун беттик тартылуу коэффициентинин анын температурасынан көз карандылыгын изилдөө.

Иштин жабдылышы: суюктуктун беттик тартылуу коэффициенттерин аныктоо үчүн жасалган курулмалар, изилденүүчү суюктуктар, шакекчелер, штангенциркуль, секундомер, идиштер, ысыткыч.

Иштин кыскача теориясы

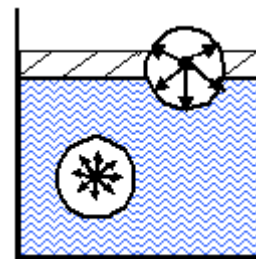
Молекулалык-кинетикалык көз караштарга ылайык суюктуктар, газдар сыяктуу эле, дискреттүү структурага ээ - алар көп сандаган майда бөлүкчөлөрдөн - молекулалардан турушат. Суюктуктардын молекулалары да тынымсыз баш аламан жылуулук кыймылына катышышат, ал кыймылдын интенсивдүүлүгү суюктуктун температурасын мүнөздөйт. Газдардан айырмаланып суюктуктарда молекулалар өтө тыгыз жайланышат. Алардын арасындагы орточо аралык кичине, өздөрүнүн өлчөмдөрүнө чамалаш. Мынчалык жакындашкан молекулалардын ортосунда күчтүү өз ара аракеттенишүү байкалат. Аракеттенишүү күчтөрүнүн молекулалардын арасындагы аралыктан көз карандылыгы бир топ татаал: бири-бирине тийишкендей өтө жакын келишкенде түртүшүү күчтөрү басымдуулук кылат. Эгерде молекулалар мындан бир аз алысташса эле өз ара тартышуу күчтөрү үстөмдүк кыла баштайт.

Реалдуу суюктуктардын молекулаларынын арасындагы орточо аралыкта аракеттенишүү, айрыкча жакынкы кошуналары менен, негизинен тартышуу мүнөзүндө жүрөт.

Молекулалардын ортосундагы өз ара тартышуу күчү сезилээрлик даражада болгон максималдык аралык берилген молекуланын коңшу молекулаларга *аракет этүүсүнүн радиусу* катары кабыл алынышы мүмкүн. Молекуланы радиусу аракет этүү радиусуна барабар сфера менен курчап, ал *молекуланын аракет этүү сферасы* деп аталуучу сферага ээ болобуз. Бул сферанын ичиндеги бардык молекулага борбордогу молекула, жана тескерисинче, борбордогу молекулага сферадагы бардык молекулалар белгилүү чоңдуктагы күч менен аракет этишип турушат.

Реалдуу суюктуктардын молекулаларынын тыгыздыгы чоң болгондуктан ар бир молекуланын таасир этүү сферасы жетишээрлик көп сандагы башка молекулаларды өз ичине камтыйт.

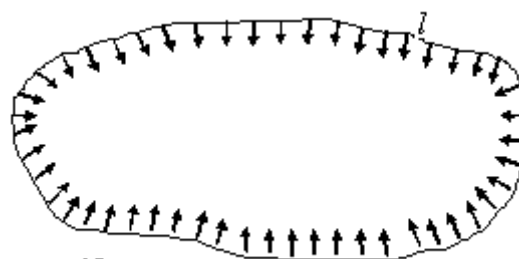
Ошондуктан суюктуктун ички бөлүгүндөгү ар бир молекулага башка молекулалардын аракет эткен күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү (орточосу) нөлгө барабар (14-сүрөт). Ал эми бетине жакын тереңдиктеги же бетиндеги молекулалардын абалы бир топ башкача болот. Суюктуктун бетинин үстүндөгү молекулалардын (абанын, буунун) тыгыздыгы суюктуктун молекулаларынын тыгыздыгынан жүздөгөн эсе аз болгондуктан суюктуктун бетиндеги аракет этүү радиусунчалык калыңдыктагы жука катмардагы молекулаларга негизинен суюктуктун молекулалары аракет этишет - натыйжада суюктуктун ичин көздөй багытталган тең аракет этүүчү күчтү пайда кылат (14-сүрөт). Бул күчтүн модулу суюктуктун ачык бетине жакындаган сайын артат.



14-сүрөт

Бул күчтөр суюктуктун беттик катмарынын анын ички бөлүгүнө басым жасашына - суюктуктун ички басымынын түзүлүшүнө алып келет. Эсептөөлөр реалдуу суюктуктарда ички басым (10-100) миңдеген атмосферага чейин жетерин көрсөтөт. Ошондуктан суюктуктар оңойлук менен кысылышпайт.

Экинчиден, бул күчтөрдүн аракет этүүсүнүн натыйжасында суюктуктун бетиндеги ар бир молекула анын ичине кирүүгө, демек, суюктуктун бети кичирейүүгө аракет кылат. Суюктуктун бетинин аянты энергетикалык зарылдыктан да кыскарууга мажбур. Анткени суюктуктун эркин бети андагы молекулалардын өз ара аракеттенишүүсү менен байланышкан жана аянтына пропорциялаш болгон ашыкча потенциалдык энергияга ээ. Термодинамиканын экинчи законуна жана туруктуулук шартына ылайык ар кандай система өз алдынча туруктуу тең салмактуу абалына, б.а. берилген шарттарда минималдык энергияга ээ болгон абалына умтулат. Ошондуктан суюктуктун бети керилген резина пленкасы сыяктуу чыңалган абалда болот. Натыйжада, сырткы күчтөр аракет этпеген учурларда, мисалы, салмаксыздык абалында, суюктук минималдык бетке ээ болгон формага, б.а. шар формасына умтулат. Суюктуктардын өзүнүн эркин бетин азайтууга багытталган аракети *беттик тартылуу кубулушу* деп аталат. Бул



15-сүрөт

кубулуштун закон ченемдүүлүктөрүн карап көрөлү.

Суюктуктун эркин бетинен кичине бөлүгүн бөлүп карайлы (15-сүрөт). Бул бөлүктүн четинде жайгашкан молекулаларга суюктуктун жука катмарынын чек арасынын эки тарабындагы молекулалары тең аракет этишет. Бетке жаныма жана чек аранын элементине перпендикуляр бир тарапты көздөй багытталган күчтөр *беттик тартылуу күчтөрү* деп аталат.

15-сүрөттөн суюктуктун бөлүгүнүн ичин көздөй багытталган беттик тартылуу күчтөрүнүн суммасы анын чек арасынын узундугуна түз пропорциялаш:

$$F = \sigma l, \quad (2.6.1)$$

мындагы пропорциялаштык коэффициентин σ - *суюктуктун беттик тартылуу коэффициенти* деп аталат да беттик тартылуу касиетин мүнөздөө үчүн колдонулат. (2.6.1)-тендемеден бул коэффициенттин физикалык мааниси аныкталат:

$$\sigma = \frac{F}{l}. \quad (2.6.2)$$

Эгерде $l = 1\text{ м}$ болсо, анда $\sigma = F$, б.а. *беттик тартылуу коэффициенти* – бул суюктуктун эркин бетинин чек арасынын бирдик узундугуна аракет эткен беттик тартылуу күчү. (2.6.2)-формуладан, эгерде күч *ньютон* менен, ал эми узундук *метр* менен өлчөнсө анда беттик тартылуу коэффициенти $\frac{Н}{м}$ бирдиги аркылуу туюнтулат.

Жогоруда белгилегендей, суюктуктун эркин бетин чоңойтуу үчүн анын ичиндеги молекулалары беттик тартылуу күчтөрүнө каршы жумуш аткарышып бетине чыгып жайланышы керек. Эгерде изотермалык шартта суюктуктун эркин бетинин аянтын dS ке чоңойтуу үчүн δA жумушу аткарылса, анда

$$\delta A = \sigma dS \quad \text{же} \quad \sigma = \frac{\delta A}{dS}.$$

Демек, *беттик тартылуу коэффициенти үчүн турактуу температурада суюктуктун эркин бетинин аянтын бир бирдикке чоңойтуу үчүн аткарылуучу жумуштун чоңдугун* да алууга болот. Бул учурда $\sigma = \frac{Дж}{м^2}$.

Суюктуктардын беттик тартылуу коэффициенти анын температурасына көз каранды. Температуранын жогорулашы менен суюктук кеңейип, тыгыздыгы азаят, ал эми анын бетинин үстүндөгү буусунун тыгыздыгы артат. Натыйжада, суюктуктун беттик катмарындагы молекулаларга аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү, демек, суюктуктардын ички басымы жана беттик тартылуу күчтөрү - (беттик тартылуу коэффициенти) азаят.

Суюктукка башка заттар кошулуп эритме пайда болгондо эриген заттын молекулаларынын бир бөлүгү беттик катмарга чыгып жайланышат, бууга айланышат. Натыйжада, кошулган молекулалардын тегине жараша суюктуктун бетиндеги молекулаларынын өз ара тартышуу күчтөрү, демек, беттик тартылуу коэффициенттери да өзгөрөт.

Кошулганда суюктуктун беттик тартылуу коэффициенттеринин маанисин өзгөртүүчү заттар *беттик активдүү заттар* деп аталышат. Мисалы, самын, жуугуч порошоктор суунун беттик тартылуу коэффициентин азайтат.

Жалпы учурда, берилген температурада таза суюктуктун беттик тартылуу коэффициенти анын кандай заттар менен чектелишип тургандыгына жараша ар түрдүү маанилерге ээ болот. Муну эске алуу үчүн σ га эки индекс коюшат: σ_{12} - 1-суюктуктун 2-зат менен чектешкен жериндеги беттик тартылуу коэффициенти деп окулат.

σ_{ik} ларды эсепке алуу менен гана нымдоо, капиллярдуулук менен байланышкан бир катар табигый процесстерди түшүндүрүүгө болот.

Бул иште «таза» суюктуктардын өзүнүн буусу жана аба менен чектешкен бетиндеги беттик тартылуу коэффициенттери аныкталат. Анын мааниси берилген суюктуктун бетиндеги молекулалардын өз ара тартышуу даражасын көрсөтөт. Түрдүү суюктуктардын беттик тартылуу коэффициенттеринин маанилерин өз ара салыштыруу аркылуу суюктуктардын молекулаларынын өз ара тартышуу күчтөрү, алардын тегине жараша, бири-биринен канчалык айырмаланышарын аныктоого болот.

σ ны аныктоо үчүн сунуш кылынган методдордун бири суюктуктун бетиндеги нерсени көтөрүп, андан ажыраткан мезгилдеги күчтүн чоңдугун өлчөөгө негизделген. Бул методдун жардамында ар кандай суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин жана анын температурадан көз карандылыгын аныктай алабыз. Экинчи метод - салыштыруу методу. Мында изилденүүчү суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин аныктоо үчүн бирдей көлөмдөгү изилденүүчү жана беттик тартылуу коэффициенти белгилүү суюктуктардын тамчылары саналат. Маселенин коюлушуна жана колдо бар мүмкүнчүлүккө жараша бул эки методдун бирин тандап алууга болот. Биз бул иште сунуш кылынган методдордун экөөн тең өздөштүрүп, алардын өзгөчөлүктөрүн баалоого аракет кылалы.

1. Беттик тартылуу коэффициентин шакекти суюктуктан үзүү жолу менен аныктоо

Жакшы нымдоочу материалдан жасалган нерсени, мисалы, шакекти изилденүүчү суюктукка горизонталдык абалда түшүргөндө суюктуктун бир бөлүгү анын бетине жабышат. Шакекти жогору көтөргөндө анын бетине жабышкан суюктуктун бөлүгү да кошо көтөрүлөт. Бул көтөрүлүүгө шакектин ички жана сырткы айланаларынын узундуктарына аракет эткен беттик тартылуу күчү тоскоолдук кылат. Көтөрүү күчүн чоңойткон сайын шакек менен тийишкен суюктуктун мамычасынын формасы өзгөрүп жукарып барат да ал күч модулу боюнча көтөрүлгөн суюктуктун жука мамычасына аракет эткен беттик тартылуу күчүнө теңелип ашканда үзүлөт.

Шакек сымал көтөрүлгөн суюктуктун жука мамычасынын ички жана сырткы беттерине аракет эткен беттик тартылуу күчүнүн чоңдугу (2.6.1)-формулага ылайык

$$F = \sigma 2L = \sigma 2\pi d_0, \quad (2.6.4)$$

мында d_0 - жука суу шакегинин диаметри. Аны шакектин диаметрлери аркылуу туюнтуп жазалы. Шакекти көтөргөндө суу мамычасынын ички диаметри d_1 чоңоюп, сырткысы d_2 ден кичирейип d_0 го умтулушат. Ошондуктан

$$d_0 = \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

Эгерде шакектин сырткы диаметрин d_2 , анын ички диаметрин d_1 жана калыңдыгын a аркылуу туюнтсак

$$d_2 = d_1 + 2a,$$

анда

$$d_0 = \frac{d_1 + d_1 + 2a}{2} = \frac{2(d_1 + a)}{2} = d_1 + a.$$

Муну (2.6.4)-формулага коелу:

$$F = 2\pi\sigma(d_1 + a).$$

Мындан

$$\sigma = \frac{F}{2\pi(d_1 + a)}. \quad (2.6.5)$$

Демек, тажрыйбада шакекти суюктуктан үзүү үчүн жетишээрлик болгон күчтү (F), шакектин ички диаметрин (d_1) жана калыңдыгын (a) өлчөө аркылуу изилденүүчү суюктуктун беттик тартылуу коэффициентинин маанисин аныктай алабыз.

Эксперименталдык курулма жана ишти аткаруунун усулу

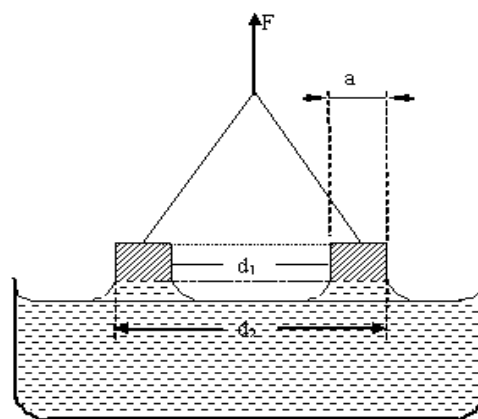
Курулма кадимки оптикалык микроскоптун механикалык бөлүктөрүнүн негизинде жасалган. Изилденүүчү суюктук куюлган идиш микроскоптун предметтик столчосуна жайгаштырылат. Шакек микроскоптун тубусунун ордуна бекитилген динамометрге илинет. Аларды суюктуктун бетине түшүрүү жана жогору көтөрүп суюктуктан үзүү микроскоптун тиешелүү винтинин (бурагычынын) жардамында ишке ашырылат. Суюктуктун беттик тартылуу күчү $F = F_{\max} - P_0$ формуласынан аныкталат, мында F_{\max} - шакекти суудан үзүү үчүн жетишээрлик болгон күч, P_0 - шакектин салмагы. Демек, беттик тартылуу күчү шакекти суюктуктун бетинен үзүп жаткандагы жана аны толук ажыратып тынчтандыргандан кийинки динамометрдин көрсөтүүлөрүнүн айырмасына барабар.

Эгерде динамометрдин шкаласы Γ күчтөр менен даражаланган болсо, аны $1\Gamma = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 980 \text{ дин}$ барабардыгы аркылуу керектүү бирдиктерге өткөрүп алууга болот.

Тажрыйба жүргүзүүдө шакекти суудан үзүп жаткандагы максималдык күчтү так аныктоо бир топ чеберчиликти талап кылат. Бул иште күчтү аныктоо үчүн колдонулган мектеп динамометринин тактыгы анчалык жогору болбогондуктан суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин аныктоонун тактыгын жогорулатуу үчүн түрдүү шакектерди колдонуп, өлчөөлөрдү көп жолу кайталоо зарыл.

Өлчөөлөрдүн тактыгына шакектин төмөнкү тегиздигинин суюктуктун бетине жарыш эмес жайгашуусу да тескери таасирин тийгизет. Бул учурда шакек суюктуктан бардык периметрлери боюнча барабар үзүлбөстөн бир четинен баштап үзүлө баштайт. Ошондуктан шакектин астынкы тегиздигин суюктуктун бетине жарыш түшүрүүгө өзгөчө аракет кылуу зарыл. Бул метод үчүн сөзсүз эле шакекти колдонуу шарт эмес. Суюктукка кандай профилдеги нерсе түшүрүлүп көтөрүлсө да, суюктук үзүлүп жатканда анын кесилишинин параметрлери так аныкталса болду.

Шакекти суудан үзгөндө аны нымдаган суунун молекулалары кошо көтөрүлөт, ошондуктан шакектин салмагын аны суудан үзгөндөн кийин (кургатып арчый электе) өлчөө керек. Антпесе шакекке жабышкан суу F_{\max} га өз үлүшүн кошот да, суюктуктун беттик тартылуу



16 - сүрөт

күчү ошончого аз чыгып калат.

Идиштеги сууну башка идиштеги ысык суу менен чабыштырып температурасын улам жогорулатып тажрыйбаны кайталоо менен ал суунун беттик тартылуу коэффициентинин температурадан көз карандылыгын изилдөөгө болот.

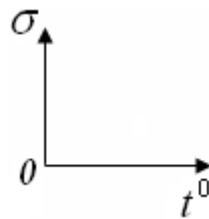
Ишти аткаруунун тартиби

1. Курулма жана анын айрым бөлүктөрүнүн кызматы менен таанышып чыккыла.
2. Тандап алынган шакектин ички диаметри d_1 жана дубалынын калыңдыгы " a " ны штангенциркуль менен өлчөгүлө. Шакектин формасынын туура тегеректен айырмаланышарын эске алып, бир нече багыттар боюнча өлчөгүлө да анын орточо маанисин d_1 деп алгыла.
3. Курулманын предметтик столчосуна изилденүүчү суюктук куюлган идишти тегиз жайгаштыргыла.
4. Шакекти динамометрге илип, жиптердин жана бурагычтын жардамында шакектин төмөнкү тегиздигин суюктуктун бетине жакын жана жарыш болгондой абалга келтиргиле.
5. Бурагычтын жардамында шакекти түшүрүп, суюктукка 2-3мм ге матыргыла.
6. Эми шакекти акырын суудан үзүп, динамометрдин көрсөтүүсүнө көз салгыла. Шакек суудан үзүлгөн кездеги динамометрдин эң чоң көрсөтүүсү F_{max} ду жазып алгыла.
7. Динамометр тынчтангандан кийин шакектин абадагы салмагын P_0 ду жазып алгыла.
8. $F = F_{max} - P_0$ формуласы боюнча беттик тартылуу күчүн аныктагыла, F, d_1 жана " a " нын маанилерин (2.6.5)-формулага коюп σ ны аныктагыла.
9. Тажрыйбаны 2-3 жолу кайталагыла, шакекти алмаштырып, ар бир шакек үчүн 2-8-көнүгүүлөрдү аткаргыла.
10. Алынган натыйжаларды таблицкага түшүргүлө:

<i>чоңдуктар</i>	d_1	a	P_0	F_{max}	F	σ	$\bar{\sigma}$	$\Delta\sigma$	$\overline{\Delta\sigma}$	$\frac{\overline{\Delta\sigma}}{\bar{\sigma}} \cdot 100\%$
<i>чен бирдиги</i>										
1.										
2.										
3.										

11. Суюктуктун температурасын болжол менен 10^0 тан жогорулатып, ар бир температура үчүн тажрыйбаны кайталагыла жана σ нын температурадан көз карандылыгын изилдегиле.
12. Алынган натыйжаларды төмөнкү таблицкага түшүрүп, σ нын t^0 дан (температурадан) көз карандылыгынын графигин тургузгула:

$t^0 \text{ } ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70
$\sigma \text{ Н/м}$						



2. Суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин анытамчылатуу усулу менен аныктоо

Тик ичке түтүктөн чыгып жаткан нымдоочу суюктуктун тамчысы чоңоюп шар формасын алууга умтулат (17-сүрөт). Тамчынын салмагы өсүп, анын моюнчасынын эң ичке бөлүгүнүн айланасына аракет эткен беттик тартылуу күчүнө жетип ашканда, тамчы үзүлөт:

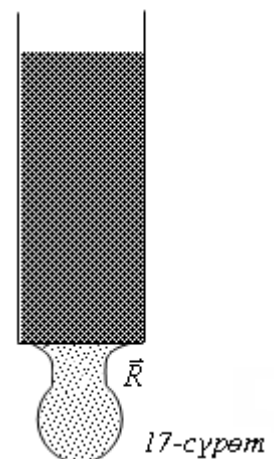
$$mg = 2\pi R\sigma, \quad (2.6.6)$$

мында m – тамчынын массасы, g – эркин түшүүнүн ылдамдануусу, R – тамчынын моюнунун радиусу, σ - суюктуктун беттик тартылуу коэффициенти.

Бул формуладагы тамчынын моюнунун радиусун түздөн-түз өлчөө өтө кыйын. Ал түтүктүн радиусунан кичине (17-сүрөт).

Ошондуктан изилденүүчү суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин табуу үчүн төмөндөгүдөй усул колдонулат.

Тик орнотулган эки бирдей айнек түтүктүн (бюретканын) бирине беттик тартылуу коэффициенти σ_1 аныкталуучу, экинчисине - бул коэффициенти σ_2 белгилүү болгон суюктук куюлсун дейли. Тамчынын үзүлүү шартын бул эки суюктук үчүн жазалы:



$$2\pi R\sigma_1 = m_1 g$$

жана

$$2\pi R\sigma_2 = m_2 g .$$

Аларды өз ара бөлүп

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{m_1}{m_2}, \quad \text{же} \quad \sigma_1 = \sigma_2 \frac{m_1}{m_2} \quad (2.6.7)$$

туюнтмасына ээ болобуз, мында m_1 изилденүүчү, ал эми m_2 - салыштыруучу суюктуктун тамчысынын массалары. m_1 жана m_2 ни аныктоо үчүн бул түтүктөрдөн бирдей көлөмдөгү суюктуктарды акырын тамчылатып агызып, алардагы тамчылардын сандарын эсептөө керек.

Эгерде V көлөмүндөгү изилденүүчү суюктук n_1 тамчыны, салыштыруучу суюктук n_2 тамчыны түзсө, анда түтүктөн агып чыккан суюктуктардын массалары, тиешелүү түрдө

$$m_1 = \frac{\rho_1 V}{n_1} \quad \text{жана} \quad m_2 = \frac{\rho_2 V}{n_2} .$$

Тамчынын массаларын (2.6.7)-теңдемеге коюп,

$$\sigma_1 = \sigma_2 \frac{\rho_1 n_2}{\rho_2 n_1} \quad (2.6.8)$$

жумушчу формуласына ээ болобуз. Мында ρ_1 - изилденүүчү,

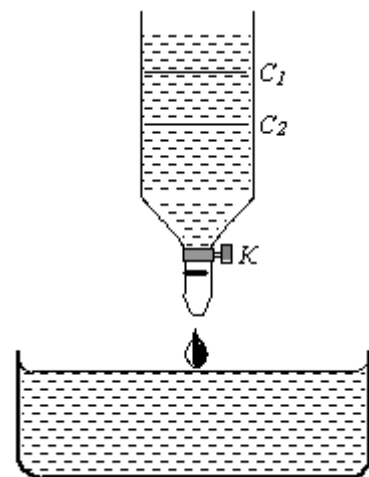
ρ_2 - салыштыруучу суюктуктун тыгыздыгы. σ_1 ди аныктоо үчүн салыштыруучу суюктуктун беттик тартылуу коэффициенти σ_2 белгилүү болушу керек. Бул усул менен суунун беттик тартылуу коэффициентин белгилүү деп эсептеп (анын маанисин алдыңкы тажрыйбадан же таблицадан алууга болот), глицериндин беттик тартылуу коэффициентин аныктайбыз.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Түтүктөрдүн (бюреткалардын) бирине глицерин, экинчисине таза суу куйгула да секундомердин жардамында минутасына 15-20 тамчы түшкөндөй кылып глицеринди агызгыла.

2. Глицериндин белгилүү көлөмү (мисалы « $C_1 C_2$ » аралыгындагы) (18-сүрөт) агып чыккандагы тамчылардын саны n_1 ди эсептегиле.

3. Ошондой эле тажрыйбаны суу менен кайталап, n_2 ни эсептегиле.



18-сүрөт

4. Глицериндин тыгыздыгы ρ_1 , суунун тыгыздыгы ρ_2 ни тиркемедеги Т.6-таблицадан жана суунун беттик тартылуу коэффициенти σ_2 нин маанилерин тиешелүү таблицадан таап, (2.6.8)-формулага койгула да σ_1 ди аныктагыла.

5. Тажрыйбаларды бир нече жолу кайталап, бардык эсептөөлөрдүн натыйжаларын төмөнкү таблицага түшүргүлө:

чоңдуктар	n_1	n_2	ρ_1	ρ_2	σ_2	σ_1	$\bar{\sigma}_1$	$\Delta\sigma_1$	$\overline{\Delta\sigma_1}$	$\frac{\overline{\Delta\sigma_1}}{\bar{\sigma}_1} 100\%$
чен бирдиги										
1.										
2.										
3.										

Тыянак:

- $\sigma_1 = \bar{\sigma}_1 \pm \overline{\Delta\sigma_1}$ _____
- Берилген температурада глицериндин беттик тартылуу коэффициенти суунун беттик тартылуу коэффициентине караганда _____. Мындан глицериндин молекулалары суунун молекулаларына караганда өз ара _____ тартышат деп тыянак чыгарууга болот.

Билимди текшерүү үчүн суроолор

- Суюктуктардын кандай касиети беттик тартылуу деп аталат?
- Суюктуктарда беттик тартылуунун пайда болушун молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча түшүндүргүлө.
- Беттик тартылуу коэффициенти суюктуктардын кандай физикалык касиетин мүнөздөйт?
- Беттик тартылуу коэффициентинин температурага көз карандылыгын түшүндүргүлө.
- Беттик активдүү заттар деген эмне? Аларга мисал келтиргиле.
- Бул ишти аткарууда суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин аныктоонун кандай усулдарын колдонунар?
- Суюктуктардын беттик тартылуу касиетин окуп үйрөнүүнүн зарылдыгы эмнеде?

2. 7. СУЮКТУКТАРДЫН САЛЫШТЫРМА ЖЫЛУУЛУК СЫЙЫМДУУЛУГУН АНЫКТОО

Иштин максаты: суюктуктардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоонун эксперименталдык жолдорун өздөштүрүү; ал методдорду колдонуп суунун жана глицериндин салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарын аныктоо.

Иштин жабдылышы: эки бирдей калориметр, эки термометр, электр каршылыктары бирдей эки ысытуучу элемент (металл спиралы), ток булагы (автотрансформатор), амперметр, вольтметр, секундомер, изилденүүчү суюктуктар, тараза же мензурка.

Иштин кыскача теориясы

Затты $1K$ ге ысытуу үчүн керектелген жылуулуктун санына барабар болгон чоңдук ал заттын жылуулук сыйымдуулугу деп аталат.

Заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу - $1kg$ затты $1K$ ге ысытуу үчүн керектелүүчү жылуулуктун санына барабар болгон чоңдук.

Заттын массасын m , жылуулук сыйымдуулугун чоң “ C ”, ал эми салыштырма жылуулук сыйымдуулугун “ c ” менен белгилесек, анда

$$C = cm \quad \text{болот.}$$

Заттын жылуулук сыйымдуулугунун чоңдугу ысытуунун шартына көз каранды. Зат ысытуудан кеңеет. Жалпы учурда затка берилген жылуулуктун саны, термодинамиканын биринчи законуна ылайык, анын ички энергиясын арттырууга жана сырткы күчтөргө каршы ал аткарган жумушка сарпталат:

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Катуу заттар жана суюктуктар ысыганда газдарга салыштырганда өтө начар кеңейшет. Ошондуктан катуу жана суюк заттарды ысытуу үчүн берилген жылуулук толугу менен алардын ички энергиясын арттырууга гана сарпталат, б.а., катуу заттардын жана суюктуктардын жылуулук сыйымдуулугу ысытуунун шартына көз каранды болбойт деп алууга болот:

$$dV = 0, \delta A = 0, \text{ ошондуктан } \delta Q = dU, \text{ демек, } c = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT}.$$

Заттардын жылуулук сыйымдуулуктары температурага көз каранды: температуранын төмөндөшү менен заттардын жылуулук сыйымдуулугу азаят. Ошондуктан температуранын берилген интервалы үчүн заттардын жылуулук сыйымдуулугунун орточо мааниси аныкталат.

Массасы m болгон заттын температуранын $\Delta T = T_2 - T_1$ интервалындагы орточо салыштырма жылуулук сыйымдуулугу

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{T_2 - T_1} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.7.1)$$

формуласы менен аныкталат. Температуранын анчалык чоң болбогон интервалында заттардын жылуулук сыйымдуулугунун өзгөрүүсү өтө кичине. Ошондуктан температуранын кичине интервалдарынын чегинде жылуулук сыйымдуулукту турактуу деп алабыз.

(2.7.1) формуладан

$$Q = cm(T_2 - T_1) \quad (2.7.2)$$

формуласына ээ болобуз.

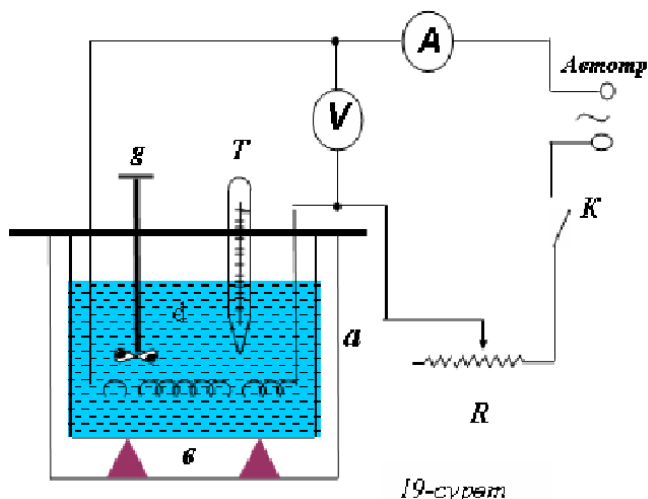
Эгерде туюк (айлана чөйрөдөн ажыратылган) термодинамикалык системада нерселердин биринен экинчисине энергия жылуулук алмашуу жолу менен гана берилсе, анда, энергиянын сакталуу законуна ылайык, жылуулук алмашууга катышкан бардык нерселердин алган жана берген жылуулук сандарынын алгебралык суммасы нөлгө барабар:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N = 0, \quad (2.7.3)$$

мында N - туюк термодинамикалык системаны түзгөн нерселердин саны. (2.7.3)-формула энергиянын сакталуу законунун формуласынын жекече учуру жана жылуулуктун балансынын теңдемеси деп аталат. Бул формулада нерсе алган жылуулук сандары оң, ал эми берген жылуулук сандары терс белгиде алынат. (2.7.2) жана (2.7.3)-формулар калориметрикалык формулар деп аталат жана жылуулук сыйымдуулукту түрдүү усулдар менен аныктоодо негизги орунду ээлешет.

Заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоодо калориметр колдонулат. Калориметр цилиндр формадагы бири-бирине тийишпей турган эки идиштен турат (19-сүрөт, "а" жана "в").

Бул идиштердин арасындагы аба катмары жылуулукту начар өткөргөндүктөн калориметрге түшүрүлгөн нерселердин айлана-чөйрө менен жылуулук алмашуусу өтө начар болот. Ошондуктан калориметр жана ага түшүрүлгөн нерселерден турган система бул иште туюк термодинамикалык система катары каралат.



Калориметрге салынган (19-сүрөт) ысытуучу элементтен ток өткөндө бөлүнүп чыккан жылуулук калориметрдин “в” ички идишин жана ага куюлган “d” изилденүүчү суюктукту ысытууга сарпталат. Эгерде ысытуучу элементтин учтарындагы чыңалуу U , андан өтүп жаткан токтун күчү I , ал эми ток өтүү убактысы t болсо, анда ал ысыткычтан, Джоуль-Ленцтин законуна ылайык

$$Q = IUt$$

жылуулук саны бөлүнүп чыгат. Бул жылуулуктун бир бөлүгүн калориметрдеги суюктук, ал эми анын экинчи бөлүгүн калориметрдин ички идиши алат. Суюктук алган жылуулук саны

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_1'' - T_1'), \quad (2.7.4)$$

ал эми калориметрдин ички идиши алган жылуулук саны

$$Q_2 = c_0 m_0 (T_1'' - T_1') \quad (2.7.5)$$

формуласы менен аныкталат. Мында c_1 – суюктуктун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, m_1 – анын массасы; c_0 – калориметрдин ички идишинин салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, m_0 – анын массасы; T_1' жана T_1'' калориметрдин ички идишинин жана андагы суюктуктун баштапкы жана кийинки температуралары.

Анда энергиянын сакталуу законуна ылайык,

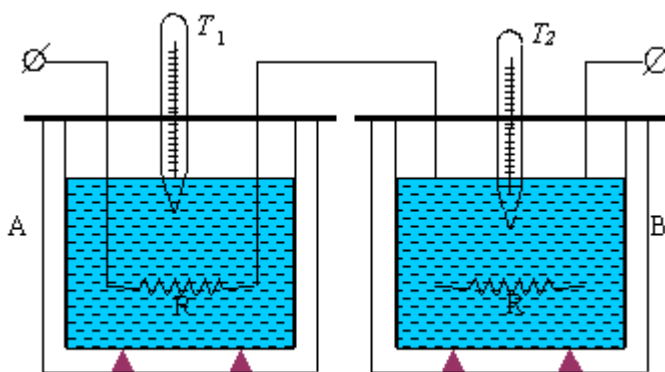
$$IUt = c_1 m_1 (T_1'' - T_1') + c_0 m_0 (T_1'' - T_1') \quad (2.7.6)$$

Бул барабардыктан изилденүүчү суюктуктун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу

$$c_1 = \frac{IUt - c_0 m_0 (T_1'' - T_1')}{m_1 (T_1'' - T_1')} \quad (2.7.7)$$

Суюктуктун салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоонун

I, U, t сыяктуу чоңдуктарды өлчөөнү талап кылбаган экинчи усулу да бар. Бул усулда эки түрдүү суюктук бир учурда каршылыктары R бирдей болгон удаалаш туташтырылган ысыткычтар менен бирдей “А” жана “В”



20-сүрөт

калориметрлерде ысытылат (20-сүрөт). Калориметрлер көзөнөкчөлөрү бар капкактар менен жабылган. Капкактагы көзөнөкчөлөрдөн “ысытуучу элементти” ток булагы менен бириктирүүчү өткөргүчтөр, аралаштыргыч жана

термометрлер түшүрүлөт. Ток булагы катары 220В чыңалууга ээ болгон электр чынжырына кошулган автотрансформатор колдонулат.

Ысыткычтардан бирдей жылуулук бөлүнүп чыккан учур үчүн

$$c_1 m_1 (T_1'' - T_1') + c_0 m_0 (T_1'' - T_1') = c_2 m_2 (T_2'' - T_2') + c_0 m_0 (T_2'' - T_2') \quad (2.7.8)$$

барабардыгын жазууга болот. Мында 1 жана 2 индекстери менен тиешелүү түрдө биринчи жана экинчи суюктуктарга тиешелүү чондуктар белгиленген. Эгерде суюктуктардын биринин салыштырма жылуулук сыйымдуулугу белгилүү болсо, (мисалы, c_1), анда алардын экинчисинин салыштырма жылуулук сыйымдуулугун (2.7.8)-формуладан аныктоого болот:

$$c_2 = \frac{(c_1 m_1 + c_0 m_0)(T_1'' - T_1') - c_0 m_0 (T_2'' - T_2')}{m_2 (T_2'' - T_2')} \quad (2.7.9)$$

Суюктуктардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоонун дагы бир усулу жөнүндө «катуу заттардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарын аныктоо» деген иште сөз кылабыз.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Жылуулук сыйымдуулукту электрдик усул менен аныктоо

1. 19-сүрөттө көрсөтүлгөн схемага ылайык электр чынжырын жыйнагыла.
2. Калориметрдин ички идишинин m_0 массасын өлчөгүлө. Бул идиштин материалынын c_0 салыштырма жылуулук сыйымдуулугун Т.25-таблицадан аныктагыла.
3. Калориметрге температурасы бөлмөнүн температурасынан төмөн болгон изилденүүчү суюктукту, мисалы, сууну куйгула да массасын аныктагыла.
4. Автотрансформатордун жөндөгүчүн 60В чыңалуу берилгендей абалга койгула. Суюктуктун баштапкы температурасы T_1' ти өлчөгүлө, андан кийин электр чынжырын “К” ачкычы менен туюктап, 60В чыңалуу бергиле да убакытты эсептей баштагыла. Ушул учурдан баштап калориметрдеги суюктукту тынымсыз аралаштырып тургула. Тажрыйбанын жүрүшүндө амперметрдин жана вольтметрдин көрсөтүүлөрүн көзөмөлдөгүлө. Ысыткычтагы чыңалууну U жана андан өтүп жаткан токтун күчүн I ни жазып алгыла.
5. Калориметрдеги суюктуктун температурасы бөлмөнүн температурасынан жогору өткөн учурда токтун үзүп, ток өткөн убакытты жазып алгыла.

Суюктукту температурасы эң чоң T_1'' маанисине жеткенге чейин аралаштырууну уланткыла.

6. Тажрыйбадан аныкталган $m_1, T_1', U, I, \tau, T_1'', m_0$, жана c_0 маанилерин (2.7.7)-формулага коюп, суюктуктун салыштырма жылуулук сыйымдуулугун эсептегиле. Тажрыйбанын натыйжаларын төмөнкү таблицкага түшүргүлө:

чоңдуктар	I	U	t	m_1	T_1'	T_1''	c_0	m_0	c_1	\bar{c}_1	Δc_1	$\overline{\Delta c_1}$	$\frac{\overline{\Delta c_1}}{\bar{c}_1} 100\%$
чен бирдиги													
1.													
2.													
3.													

2. Жылуулук сыйымдуулукту салыштыруу усулу менен аныктоо

- 20-сүрөттө көрсөтүлгөн электр чынжырын жыйнагыла.
- Калориметрдин бирине суу, ал эми экинчисине глицерин куйгула. Суунун массасын m_1 жана глицериндин массасын m_2 алдын ала өлчөп алгыла.
- T_1', T_1'', T_2' , жана T_2'' тин маанилерин 1-усулдун 4 жана 5 пункттарына ылайык өлчөгүлө. Бул усулда амперметр, вольтметр жана секундомерлер пайдаланылбайт.
- Өлчөөлөрдүн натыйжаларын (2.7.9)-формулага коюп, глицериндин салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктагыла. Суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу c_1 дин ордуна, анын ушул ишти аткарууда аныкталган же Т.25-таблицадагы мааниси коюлат.
- Тажрыйбадан алынган натыйжаларды төмөнкү таблицкага түшүргүлө:

чоңдуктар	c_1	m_1	T_1'	T_1''	c_0	m_0	m_2	T_2'	T_2''	c_2	\bar{c}_2	Δc_2	$\overline{\Delta c_2}$	$\frac{\overline{\Delta c_2}}{\bar{c}_2} 100\%$
чен бирдиги														
1.														
2.														
3.														

Тыянак:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Жылуулук саны деген эмне жана анын кандай бирдиктерин билесиңер?
2. Калориметр кандай талаптарга жооп бериши керек?
3. Жылуулук тең салмактуулук принциби деген эмне? Молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча жылуулук тең салмактуулук кантип орношот?
4. Температура заттын кандай касиетин мүнөздөөчү чоңдук? Заттын температурасын өлчөөнүн физикалык негиздери жана термометрдин түрлөрү.
5. Жылуулуктун балансынын теңдемесинин физикалык мааниси кандай?
6. Заттын жылуулук сыйымдуулугу эмнелерден көз каранды жана аларды кантип эсепке алышат?
7. Бул ишти аткарууда колдонгон усулдарды негиздегиле.

2.8. СУЮКТУКТУН ИЧКИ СҮРҮЛҮҮ (ИЛЕШИМДҮҮЛҮК) КОЭФФИЦИЕНТИН СТОКСТУН УСУЛУ МЕНЕН АНЫКТОО

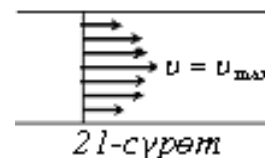
Иштин максаты: суюктуктардын негизги физика-техникалык мүнөздөмөсү - илешимдүүлүгүн окуп үйрөнүү жана суюктукка шарчаларды түшүрүү менен анын илешимдүүлүк коэффициентин аныктоо.

Иштин жабдылышы: узундугу 100-150см болгон цилиндр формасындагы айнек идиш, изилденүүчү суюктук, кичинекей металл шарчалар, секундомер, сызгыч, микрометр же штангенциркуль.

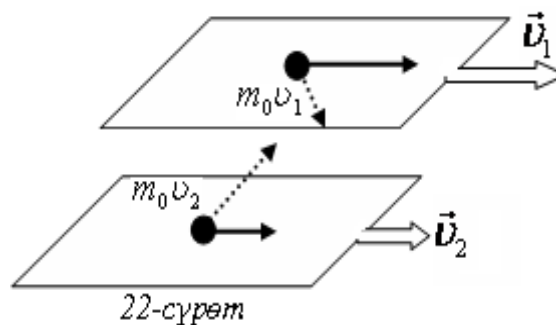
Иштин кыскача теориясы

Ички сүрүлүү кубулушу заттардын майда бөлүкчөлөрдөн (молекулалардан, атомдордон) түзүлүшүнүн жана ал бөлүкчөлөрдүн тынымсыз баш аламан кыймылда болууларынын натыйжасы, б.а., МКТнын негизги жоболорунун эксперименталдык негиздеринин бири болот.

Эгерде агып жаткан суюктуктун (же газдын) түрдүү катмарларынын ылдамдыктары түрдүүчө болсо, анда ал катмарлардын арасында ички сүрүлүү күчтөрү пайда болот. 21-сүрөттө түтүктө агып жаткан суюктуктун катмарларынын ылдамдыктарынын түтүктүн туура кесилиши боюнча бөлүштүрүлүшү көрсөтүлгөн. Илешимдүүлүктүн натыйжасында суюктуктун түтүктүн капталына жакын болгон катмарларынын ылдамдыктары анын ортоңку катмарларынын ылдамдыктарынан кичине болот.



Суюктуктардагы ички сүрүлүү кубулушу молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча төмөндөгүдөй түшүндүрүлөт: суюктуктун молекулалары тынымсыз жана баш-аламан (жылуулук) кыймылда болушкандыктан, жалпы багытталган агымдан сырткары алардын айрымдары ылдамдыгы чоң катмардан ылдамдыгы кичине катмарга же тескерисинче, ылдамдыгы кичине катмардан ылдамдыгы чоң катмарга өтүшөт (22-сүрөт, үзүк сызык). Айталы, бул өтүүлөрдөгү молекулалардын сандары бирдей болсун. Анда тез аккан катмардан жай аккан катмарга өткөн молекулалардын импульсу (кыймыл саны) жай аккан катмардан тез аккан катмарга өткөн молекулалардын импульсунан чоң болот.



Демек, жылуулук кыймылынын натыйжасында суюктуктун тез аккан катмарынан жай аккан катмарына импульс ташылат. Мунун натыйжасында суюктуктун жай аккан катмары ылдамданат, ал эми тез аккан катмары акырындайт. Ошентип, суюктуктун бул катмарларынын чегинде тез аккан катмарга кыймылынын багытына карама-каршы (F_{c_1}), ал эми жай аккан катмарга кыймылынын багыты боюнча багытталган (F_{c_2}) ички сүрүлүү күчтөрү пайда болот. Бул күчтөрдүн чоңдуктары бирдей, ошондуктан $|F_{c_1}| = |F_{c_2}| = F_c$ деп алабыз.

Суюктуктун ылдамдыгы кичине катмарына аракет эткен ички сүрүлүү күчүнүн импульсу $F_c \Delta t$, ылдамдыгы чоң катмардан Δt убакытта ага ташылган импульс (кыймыл саны) ΔK га барабар

$$F_c \Delta t = \Delta K . \quad (2.8.1)$$

Суюктуктун молекулаларынын жылуулук кыймылынын толук баш аламандык принциби жана механиканын негизги закону – Ньютондун II законунун көрүнүштөрүнүн бири болгон (2.8.1)-законду

колдонуп, суюктуктун берилген катмарына аракет эткен ички сүрүлүү күчү F_c ал катмардын тийишкен бетинин аянтына (S) жана ылдамдыктын градиенти $\frac{\Delta v}{\Delta X}$ ке (суюктуктун агымынын багытына перпендикуляр багыт боюнча ылдамдыктын бирдик аралыктагы өзгөрүшүнө) түз пропорциялаш

$$F_c = \eta \cdot S \frac{\Delta v}{\Delta X} \quad (2.8.2)$$

болушун далилдөөгө болот, мында: η - суюктуктун *илешимдүүлүк же ички сүрүлүү коэффициенти* деп аталат. (2.8.2)-формуладан, эгерде $\frac{\Delta v}{\Delta X} = 1$ бирдик жана $S = 1$ бирдик болсо, анда $F_c = \eta$ болот. Демек, *илешимдүүлүк коэффициенти сан жагынан ылдамдыктын градиенти бир бирдикке барабар болгон агымдын катмарларынын чегиндеги бирдик аянтка аракет этке ички сүрүлүү күчүнө барабар.*

(2.8.2)-формуладан

$$\eta = \frac{F_c}{S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta X}} \quad (2.8.3)$$

болот. Бул формула боюнча η нын бирдиктери аныкталат. СИ системасында илешимдүүлүк коэффициентинин бирдиги үчүн ылдамдыктын градиенти $1 \frac{m/c}{m}$ болгондо $1 m^2$ аянтка $1 N$ ички сүрүлүү күчү аракет эткен суюктуктун илешимдүүлүгү кабыл алынат. Бул бирдик *Пуазейль* деп аталат жана (2.8.3)-формула боюнча төмөндөгүдөй жазылат:

$$1 \text{ Пуаз} = \frac{1 N}{1 m^2 \cdot 1 \frac{m/c}{m}} = 1 \frac{N \cdot c}{m^2} = 1 \frac{kg \frac{m}{c^2} c}{m^2} = 1 \frac{kg}{c \cdot m}.$$

Илешимдүүлүк - заттын негизги физика-техникалык мүнөздөөчүсү. Суюктуктардын илешимдүүлүгү алардын тегине көз каранды жана температуранын жогорулоосу менен азаят. Суюктуктардын илешимдүүлүгүнүн температурага көз карандылыгы төмөнкүдөй түшүндүрүлөт.

Суюктуктардын молекулалары “отурукташуу” убактысы деп аталуучу убакытта коңшу молекулалардын курчоосунда термелишип турушат. Молекулалардын термелүүсүн коңшу молекулалардын курчоосунан чыгууга болгон аракет катары кароого болот. Бул курчоодон чыгуу үчүн зарыл болгон энергия E - *активдешүү энергиясы* деп аталат. Молекулалардын бул энергияга ээ болуусу кокустук окуя болот. Молекула кошуналары менен аракеттенишүүнүн натыйжасында

бул энергияга ээ болгон учурда башка орунга секирип өтөт. Мына ошентип, суюктуктун молекулалары термелип жана секирип турат. Алардын термелүүлөрүнүн жана секирүүлөрүнүн багыттары түрдүүчө, б.а., алар баш аламан кыймылда болушат.

Суюктуктун активдешүү энергиясына ээ болгон молекулаларынын концентрациясы n Больцмандын законуна ылайык

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{E}{kT}} \quad (2.8.4)$$

формуласы менен аныкталат, мында n_0 – молекулалардын концентрациясы, kT – молекуланын бир термелүү эркин даражасына туура келүүчү орточо энергия; k – Больцман турактуусу, T – суюктуктун абсолюттук температурасы.

(2.8.4)-формуладан

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{E}{kT}} \quad (2.8.5)$$

болот, мында $\frac{n}{n_0}$ – молекуланын E активдешүү энергиясына ээ болуусунун ыктымалдыгы. Молекуланын «отурукташуу» убактысы « τ » бул ыктымалдыкка тескери пропорциялаш:

$$\tau \sim \frac{1}{\frac{n}{n_0}}.$$

(2.8.5)-формулань эске алсак, $\tau \sim e^{\frac{E}{kT}}$ болот.

Суюктуктун илешимдүүлүгү молекулалардын «отурукташуу» убактысына түз пропорциялаш: $\eta \sim \tau$.

Анда

$$\eta \sim e^{\frac{E}{kT}} \quad \text{же} \quad \eta = c \cdot e^{\frac{E}{kT}} \quad (2.8.6)$$

болот, мында c – пропорциялаштык коэффициенти. (2.8.6)-формуладан суюктуктун температурасы T жогорулаганда илешимдүүлүк коэффициенти η нын азайышы көрүнүп турат. Мына ошентип, суюктуктарды ысытканда алардын молекулаларынын «отурукташуу» убакыттары азайып, агуучулугу артат (илешимдүүлүгү азаят).

Илешимдүүлүктү аныктоонун усулу

Бул жумушта суюктуктун илешимдүүлүгүн аныктоо үчүн Стокстун закону колдонулат. Эгерде шарча суюктукта жай, артында эч

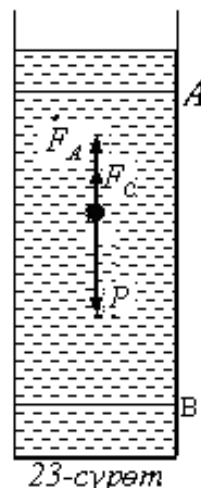
кандай куюнду пайда кылбастан кыймылдаса, анда ага Стокстун законуна ылайык

$$F_c = 6\pi r v \eta \quad (2.8.7)$$

сүрүлүү күчү аракет этет, мында r – шарчанын радиусу, v – ылдамдыгы.

Демек, суюктукта жай кыймылдап жаткан шарчага аракет эткен сүрүлүү күчү анын радиусуна, ылдамдыгына жана суюктуктун илешимдүүлүгүнө түз пропорциялаш болот.

Бул жумушта шарча тынч абалдагы суюктукка түшүрүлөт. Суюктукка түшүп бара жаткан шарчага үч күч аракет этет (23-сүрөт): оордук күчү P , тик жогору багытталган Архимед күчү F_A жана кыймылдын багытына каршы - сүрүлүү күчү F_c .



Сүрүлүү күчү F_c шарчанын жолундагы суюктуктун түрдүү катмарларынын түрдүү ылдамдыктар менен которулуштарынан пайда болот: шарча кыймылынын багытындагы суюктуктун катмарларын өзү менен бирге которот; бул убакытта кыймылдагы катмарлар менен тынч турган катмарлардын арасында сүрүлүү күчү пайда болот.

Шарчанын суюктукта түшүүсүн эки этапка бөлүп кароо мүмкүн. Шарча түшүүнүн баштапкы учурларында ылдамдануу менен кыймылдайт. Бирок шарчанын ылдамдыгынын артышы менен ага аракет эткен сүрүлүү (каршылык) күчү да артат. Ошондуктан шарчага аракет этүүчү күчтөрдүн (P, F_A, F_N) тең аракет этүүчүсү азайып отуруп белгилүү убакыттан кийин нөлгө теңелет. Ушул учурдан баштап шарчанын кыймылы бир калыпта уланат. Тажрыйбада шарчанын ушул кыймылынын ылдамдыгын аныктоо өтө зарыл.

Шарчанын суюктуктагы ылдамдатылган кыймылынын тендемеси, Ньютондун экинчи законуна ылайык, төмөнкүдөй жазылат:

$$P - F_A - F_c = ma \quad \text{же}$$

$$\rho g V - \rho_1 g V - 6\pi \eta r v = m \frac{dv}{dt}. \quad (2.8.8)$$

Мында $m = \rho V$ - шарчанын массасы, $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ - анын көлөмү. Анда

(2.8.8)-тендемени

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g(\rho - \rho_1)}{\rho} - \frac{6\pi \eta r v}{V \rho} \quad (2.8.9)$$

көрүнүшүндө жазууга болот.

Шарчанын суюктуктагы кыймылы бир калыпта болгондо

$$v = const$$

жана

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

болгондуктан (2.8.9)-барабардыктан

$$V(\rho - \rho_1) \cdot g - 6\pi r v \eta = 0$$

формуласына ээ болобуз.

Мындан

$$\eta = \frac{V(\rho - \rho_1)g}{6\pi r v} = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho - \rho_1}{v} \quad (2.8.10)$$

болот.

Курулманын түзүлүшү жана ишти аткаруунун усулу

Тик жайгаштырылган цилиндр формасындагы айнек идишке илешимдүүлүгү аныкталуучу суюктук - глицерин куюлган (23-сүрөт). Бул цилиндрдин каптал бетинде *A* жана *B* белгилери бар. *A* белгисинен баштап суюктукка ташталган шарча турактуу ылдамдыка ээ болуп кыймылдайт деп эсептелет. Суюктукка түрдүү диаметрдеги майда шарчалар ташталат.

Илешимдүүлүк коэффициентинин маанисин аныктоонун тактыгы шарчанын бир калыптагы кыймыл аралыгын жана аны өтүүгө кеткен убакыт интервалын аныктоонун тактыгына көз каранды. Ошондуктан *A* жана *B* деңгээлдеринин арасындагы аралыкты так өлчөөгө, секундомерди шарча *A* деңгээлин кесип өтүп жаткан моментте иштетип, *B* деңгээлин кесип өтүп жаткан мезгилде токтотууга аракет кылуу зарыл. Ал үчүн көздү кезеги менен *A* жана *B* деңгээлдеринин тегиздигинде жайгаштырып алууга үлгүрүү керек.

Иште колдонулган шарчалар өтө кичине болушкандыктан анын радиусун өтө так өлчөөгө аракеттенгиле. Анткени, акыркы жумушчу формулада шарчанын радиусунун квадраты көбөйтүүчү катары катышкандыктан, аны өлчөөдө кетирилген каталык да квадратка көтөрүлүп көбөйтүлөт, натыйжада илешимдүүлүк коэффициентин эсептөөнүн тактыгы начарлайт.

Аягында, изилденүүчү суюктуктун тыгыздыгы анын температурасына көз каранды болорун эске алгыла. Заттардын тыгыздыгынын таблицада берилген маанилери анда көрсөтүлгөн температуралар үчүн гана жарактуу.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Шарчанын диаметрин ченеп, радиусун аныктагыла.

2. Шарчаны цилиндрдин огун бойлото суюктукка таштап, анын «А» деңгээлинен «В» деңгээлине чейинки аралыктагы бир калыптагы кыймылынын ылдамдыгын аныктагыла: $v = \frac{l}{t}$, мында l - «А» жана «В» деңгээлдеринин арасындагы аралык; t - шарчанын бул аралыкты басып өтүү убакыты. «А» деңгээли суюктуктун бетинен болжол менен 5-6 см төмөн жайгашуусу зарыл.
3. Колдонмодогу Т.6-таблицадан шарчанын материалынын жана суюктуктун тыгыздыктарын (ρ жана ρ_1) аныктагыла.
4. ρ, ρ_1, r жана v нын маанилерин (2.8.10)-формулага коюп, изилденип жаткан суюктуктун илешимдүүлүк коэффициентин аныктагыла.
5. Тажрыйбаны бир нече жолу кайталап натыйжаларын төмөнкү таблицкага жазгыла:

чоңдуктар	r	l	t	v	η	$\bar{\eta}$	$\Delta\eta$	$\frac{\Delta\eta}{\bar{\eta}}$	$\frac{\Delta\eta}{\bar{\eta}} 100\%$
чен бирдиги									
1.									
2.									
3.									

Тыянак: Глицериндин $t = \text{ } ^\circ\text{C}$ кезиндеги илешимдүүлүк коэффициенти $\eta = \bar{\eta} \pm \Delta\bar{\eta} = \text{_____}$. Анын таблицкада берилген маанисинен айырмалуу болушунун себеби _____

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Ички сүрүлүү кубулушун молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча түшүндүргүлө.
2. Ички сүрүлүү күчү кандайча жаралат жана анын чоңдугу эмнеден көз каранды?
3. Ички сүрүлүү коэффициентинин физикалык мааниси жана чен бирдиктери. Динамикалык жана кинематикалык илешимдүүлүктөр.
4. Суюктукта түшүп бара жаткан шарчага аракет этишкен күчтөрдүн тең аракет этүүчүсүнүн өзгөрүү законун жана анын натыйжасында шарчанын кыймылынын мүнөзүн талдагыла.
5. Суюктуктардын илешимдүүлүгүнүн температурадан көз карандылыгын түшүндүргүлө.

6. Суюктуктардын техникада колдонулушунда алардын илешимдүүлүгү эске алынабы? Мисал келтиргиле.
7. Суюктуктун кандай кыймылдарын ламинардык, турбуленттик агым деп айтабыз?

2.9. БУУГА АЙЛАНУУНУН САЛЫШТЫРМА ЖЫЛУУЛУГУН АНЫКТОО

Иштин максаты: суюктуктардын буулануу процессин окуп үйрөнүү. Кайноо температурасында суунун бууга айлануусунун салыштырма жылуулугун аныктоо.

Иштин жабдылышы: калориметр, аралаштыргыч, айнек идиштер, резина түтүктөр, термометр, барометр, тараза, электр ысыткычы.

Иштин кыскача теориясы

Суюктуктар (суу, глицерин ж.б.) молекулалардан турушат. Суюктуктардын молекулалары термелүү жана “секирик” кыймылдарын жасашат. Бул молекулалардын «отурукташуу» убагындагы термелүүлөрүнүн багыттары, жыштыктары, амплитудалары жана алардын «секирүүлөрүнүн» багыттары жана ылдамдыктары ар түрдүү, б.а., алардын кыймылы толук баш аламан мүнөздө болот. Ошондуктан суюктукта дайыма ылдамдыктары (энергиялары) орточо ылдамдыктан (энергиядан) бир канча эсе чоң болгон молекулалар да болот. Бул молекулалар кокусунан суюктуктун эркин бетин карай «секиргенде», коншулаш турган молекулалардын тартуу күчтөрүн женип, суюктуктан чыгып кетишет – суюктук бууланат. Буулануу процессинде суюктуктан жалаң кинетикалык энергиялары чоң болгон молекулалар чыгып тургандыктан, суюктуктун калган молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы бара-бара азаят. Заттын температурасы анын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болору бизге белгилүү. Мындан бууланганда суюктуктардын муздашынын себебин түшүнүүгө болот.

Суюктукту турактуу температурада буулантуу үчүн ага белгилүү сандагы жылуулук энергиясын берүү керек. Бул жылуулук анын *бууга айлануу жылуулугу* деп аталат. *1кг суюктукту турактуу температурада толугу менен бууга айлантуу үчүн зарыл болгон жылуулук саны анын бууга айлануусунун салыштырма жылуулугу деп аталат.* Бууга айлануунун салыштырма жылуулугу λ суюктуктун тегине, температурасына жана эркин бетинин үстүндөгү абанын

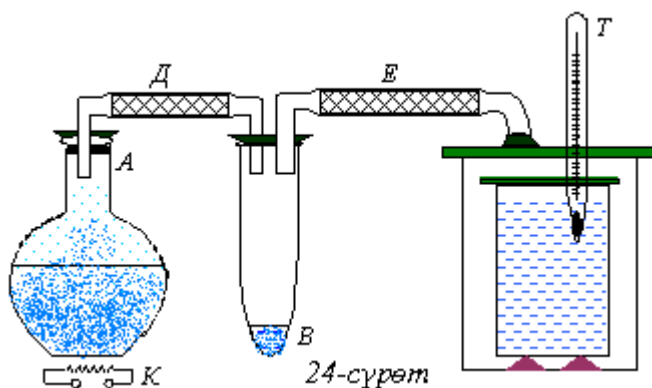
басымына көз каранды. Мисалы, берилген турактуу температурада түрдүү суюктуктардын буулануу интенсивдүүлүгү ар түрдүү. Бул алардын бууга айланууларынын салыштырма жылуулуктары түрдүүчө экендигинен кабар берет. Кайсы суюктуктун бууга айлануусунун салыштырма жылуулугу аз болсо берилген температурада ал жеңил бууланат (эфир, бензин, бензол, ацетон ж.б.). Суюктуктун температурасынын жогорулашы менен бууга айлануунун салыштырма жылуулугу азаят жана критикалык температурада ал нөлгө теңелет. Анткени, ысытуудан суюктук кеңеет, анын молекулаларынын арасындагы аралык артат, натыйжада алардын өз ара тартылуу күчтөрү азаят. Ошондуктан молекулалар суюктукту таштап чыгуу үчүн мурдагыдан аз жумуш аткарышат, демек, бууга айлануу үчүн аз жылуулук талап кылынат.

Суюктуктун бетиндеги басымдын жогорулашы менен анын бууга айлануусу кыйындайт, демек, бууга айлануу үчүн көбүрөөк жылуулук талап кылынат.

Ишти аткаруунун усулу

Бул жумушта кайнап жаткан суунун бууга айлануусунун салыштырма жылуулугу, б.а., кайноо температурасында турган 1кг сууну ошол эле температурада толук бууга айландыруу үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны аныкталат. Буулануу процесси жүрүп жатканда бул жылуулуктун санын түздөн-түз аныктоо кыйын, себеби, сарпталган жылуулуктун канча бөлүгү суюктуктун бууга айлануусуна, ал эми канча бөлүгү айлана-чөйрөгө берилип жаткандыгын так ажыратып билүү мүмкүн эмес. Ошондуктан бууга айлануунун салыштырма жылуулугун конденсация (буунун суюктукка айлануу) процессин изилдөө аркылуу аныктайбыз, анткени, 1кг буу турактуу температурада толугу менен конденсацияланганда сан жагынан бууга айлануунун салыштырма жылуулугуна барабар болгон жылуулук бөлүнүп чыгат.

Бул максатта 24-сүрөттө көрсөтүлгөн аспаптардан төмөнкүдөй пайдаланабыз: A идиштеги суу K электр ысыткычынын жардамында ысытылат. Үзгүлтүксүз жылуулук берүүнүн натыйжасында, суу кайнап бууга айланып



24-сүрөт

жатканда A жабык идишиндеги буунун тыгыздыгы жана басымы жогорулайт. Ал өз кезегинде, суунун кайноо температурасынын, демек, каныккан суу бууларынын температурасынын идиш «ачык» кезиндеги маанилерине салыштырмалуу жогору болушуна алып келет. Ошондуктан, бууну адегенде D түтүкчөсү аркылуу B идишине кеңейтип «муздатып», ашыкчасын конденсациялап алабыз да, калган, басымы бөлмөдөгү абанын басымына теңелген, бөлүгүн E түтүкчөсү аркылуу калориметрге өтүп конденсацияланууга жана муздак сууга кошулууга мажбурлайбыз. Калориметрдеги конденсациялануучу буунун температурасы бөлмөдөгү суунун кайноо температурасына барабар. Буу конденсацияланганда жана пайда болгон ысык суу муздаганда бөлүнүп чыккан жылуулук саны калориметрдин ички идишине жана андагы муздак сууга берилет. Мындай өз ара жылуулук алмашуу процесси идиштин, идиштеги ысык жана муздак суулардын ортосунда жылуулук тең салмактуулугу орногон кезде токтойт. Буу конденсацияланганда жана ысык суу муздаганда бөлүнүп чыккан жылуулуктун айлана-чөйрөгө берилишин азайтуу максатында тажрыйба учурунда калориметрдин капкагы тыгыз жабылууга тийиш. Суу кайнап жатканда идиштеги басым жана температура жогору болгондуктан тыгындылардын бекем, түтүктөрдүн бүктөлбөй турушуна көз салып, аларды кагаз же чүпүрөктүн жардамында гана кармоо керек. Тажрыйбалардын аралыгында E түтүкчөсүн башка бир идишке салып койгон оң.

Айталы, массасы m жана температурасы t^0 - суунун кайноо температурасына барабар болгон буу конденсацияланып, температурасы t_0^0 болгон муздак сууга кошулсун. Бул буу сууга айланганда

$$Q_1 = \lambda m \quad (2.9.1)$$

жылуулук санын, ал эми буудан пайда болгон (конденсацияланган) ысык суу муздаганда

$$Q_2 = c \cdot m(t^0 - \theta^0) \quad (2.9.2)$$

жылуулук санын бөлүп чыгарат, мында c - суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, θ^0 - калориметр, калориметрдеги муздак суу жана конденсацияланган ысык суу жылуулук тең салмактуулук абалга келгендеги жалпы температура ($t_0^0 < \theta^0 < t^0$).

Энергиянын сакталуу законуна ылайык Q_1 жана Q_2 жылуулуктары калориметрдеги муздак сууну жана калориметрдин ички идишин ысытууга, б.а. алардын температурасын t_0^0 дон θ^0 га чейин жогорулатууга сарпталат.

Калориметрдеги муздак суунун массасы M , ал эми калориметрдин ички идишинин массасы m_0 жана салыштырма жылуулук сыйымдуулугу c_0 болсун. Анда муздак суу алган жылуулук саны

$$Q_3 = cM(\theta^0 - t_0^0), \quad (2.9.3)$$

ал эми калориметрдин ички идиши алган жылуулук саны

$$Q_4 = c_0 m_0 (\theta^0 - t_0^0) \quad (2.9.4)$$

болот. Калориметрдеги жогоруда баяндалган жылуулук процесси үчүн энергиянын сакталуу закону (жылуулуктун балансынын тендемеси)

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (2.9.5)$$

көрүнүшүндө жазылат. (2.9.1), (2.9.2), (2.9.3) жана (2.9.4)-формуларды (2.9.5)-барабардыкка койсок,

$$\lambda m + cm(t^0 - \theta^0) = cM(\theta^0 - t_0^0) + c_0 m_0 (\theta^0 - t_0^0) \quad (2.9.5)'$$

болот. Мындан

$$\lambda = \frac{(cM + c_0 m_0)(\theta^0 - t_0^0) - cm(t^0 - \theta^0)}{m} \quad (2.9.6)$$

ээ болобуз.

Ишти аткаруунун тартиби

1. A айнек идишине суу куюп, аны K электр ысыткычы менен ысыткыла (24-сүрөт).
2. Абанын басымын өлчөп, $t^0 = 100 + 0,0375 (H - 760)$ формуласын колдонуп, суунун кайноо температурасын аныктагыла.
3. Калориметрдин ички идишинин массасы m_0 ду өлчөгүлө.
4. Калориметрдин ички идишине суу куйгула. Бул идиштин жана суунун жалпы массасы m_1 ди өлчөгүлө. $M = m_1 - m_0$ туюнтмасын колдонуп, калориметрдеги суунун массасын аныктагыла.
5. Калориметрдеги суунун баштапкы температурасы t_0^0 ду өлчөгүлө.
6. Калориметрдеги сууга E резина түтүгүнүн жардамында буу киргизгиле. Суунун температурасы $4^0 - 5^0 C$ га жогорулаганда буунун берилишин токтоткула. Калориметрдеги суунун кийинки температурасы θ^0 ны өлчөгүлө.
7. Калориметрдин ички идишинин жана андагы суунун жалпы массасын m' кайрадан өлчөп, конденсацияланган буунун массасын $m = m' - m_1$ барабардыгы боюнча аныктагыла.

8. Суунун жана калориметрдин ички идишинин материалынын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарын (c жана c_0) Т.25-таблицадан жазып алгыла.

9. $m_0, M, m, t_0^0, t^0, \theta^0, c$ жана c_0 дун маанилерин (2.9.6)-формулага коюп, λ нын маанисин аныктагыла.

10. Тажрыйбаны бир нече жолу кайталап, ысыткычты өчүргүлө да натыйжаларын төмөнкү таблицага түшүргүлө:

чоңдуктар	m_0	c_0	c	M	t_0^0	m	t^0	θ^0	λ	$\bar{\lambda}$	$\Delta\lambda$	$\overline{\Delta\lambda}$	$\frac{\overline{\Delta\lambda}}{\bar{\lambda}} 100\%$
чен бирдиги													
1.													
2.													
3.													

Тыянак: Суунун бууга айлануусунун салыштырма жылуулугу

($P = \text{_____ Па}$, $T_K = \text{_____}^{\circ} \text{C}$ кезинде) $\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\bar{\lambda} = \text{_____}$

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Суюктуктардын буулануусунун жана кайноосунун механизмдин молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча түшүндүргүлө.
2. Эмне үчүн суюктуктар буулануудан муздайт, ал эми кайнатып жатканда алардын температурасы өзгөрбөйт?
3. Бууга айлануунун салыштырма жылуулугу деп эмнени айтабыз жана анын чоңдугу эмнелерден көз каранды? λ ны аныктоонун бул жумушта колдонулган усулун негиздегиле.
4. Жылуулук тең салмактуулук принциби деген эмне? Бул жумушта аны кандайча пайдаландыңар?
5. Клайперон-Клаузиустун тендемесинин физикалык маанисин түшүндүргүлө.
6. Буулардын практикада колдонулушуна мисалдар келтиргиле.
7. Жаан жаап жаткан мезгилде аба жылуу болорун, ал эми жамгырдан кийин күн ачылганда аба кескин сууп кетерин түшүндүргүлө.

2.10. КАТУУ ТЕЛОЛОРДУН ЖЫЛУУЛУКТАН КЕҢЕЙҮҮЛӨРҮНҮН ТЕРМИКАЛЫК КОЭФФИЦИЕНТИН АНЫКТОО

Иштин максаты: катуу нерселердин жылуулуктан кеңейүүлөрүн окуп үйрөнүү; алардын сызыктуу жана көлөмдүк кеңейүү коэффициенттерин аныктоо.

Иштин жабдылышы: металлдардын сызыктуу кеңейүүсүн өлчөөчү курулма, түрдүү металлдардан жасалган түтүктөр, электр ысыткычы, ысыкка чыдамдуу айнек идиш, резина түтүк, масштабдуу сызгыч, термометр.

Иштин кыскача теориясы

Физикада катуу нерселер деп адатта *кристаллдык* структурага ээ болгон нерселерди түшүнүшөт. Кристаллдар аморфтук нерселерден бөлүкчөлөрүнүн мейкиндикте иреттүү жайгашуусу менен айырмаланышат. Мисалы, аш тузунун кристаллында натрийдин төрт он иону жана хлордун төрт терс иону өз ара кезектешип кубдун чокуларында жайгашышат да аталган кристаллдын эң кичине уячасын түзөт. Мындай структурада ар бир ионго эң жакынкы кошуналары катары карама-каршы белгидеги иондор жайланышат. Менделеевдин мезгилдик таблицасынын биринчи жана жетинчи группаларынын элементтеринен түзүлгөн башка кошулмалар да кубдук структура менен мүнөздөлөт.

Табиятта кристаллдын уячасынын структурасынын кубдан башка көптөгөн түрлөрүн кездештирүүгө болот. Жалпысынан аларды өзгөчөлүктөрүнө жараша 230 федоровдук группага, 32 кристаллдык класска же Бравэнин торчолорунун 14 түрүнө бөлүп кароого болот.

Эгерде кристаллдын жалпы структурасын анын элементардык уячасын мейкиндиктин түрдүү үч багыты боюнча ой жүзүндө жарыш которуу аркылуу алууга болсо, анда мындай кристаллды *монокристалл* деп аташат. Табиятта ири өлчөмдөгү монокристаллдар өтө сейрек кездешет. Жаратылыштагы катуу заттар көбүнчө *поликристаллдык* структурага ээ - аларды бири-бири менен молекулалык күчтөр аркылуу кармалышкан жана мейкиндикте баш аламан тартипте жайгашкан монокристаллдардын жыйындысы катары кароого болот. Ошондуктан, поликристаллдар бүртүкчөлүү структурага ээ, айрым заттардын мындай түзүлүшүн микроскоптон даана байкоого болот.

Кристаллды түзгөн бөлүкчөлөр кристаллдык торчонун түйүндөрүн таштап кете алышпайт, анын чекебелинде тынымсыз

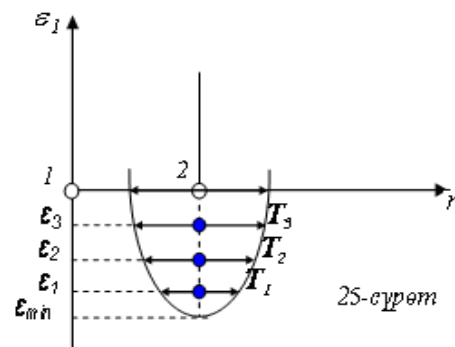
термелишип турушат. Кванттык физиканын көз караштарынын чегинде жүргүзүлгөн эсептөөлөр кристаллдын бөлүкчөлөрү түрдүү багыттарда жана түрдүүчө жыштыктар менен термеле алышарын көрсөтөт. Бөлүкчөлөрдүн мындай термелүү кыймылдарынын энергияларынын суммасы кристаллдын ички энергиясын түзөт. Кристаллдын температурасынын өсүшү менен анын бөлүкчөлөрүнүн термелүү кыймылдарынын амплитудалары, демек, энергиялары чоңоет. Бул процессти түшүнүүгө аракет кылып көрөлү.

Классикалык жана кванттык физикада көпчүлүк эсептөөлөр үчүн кристаллды жөнөкөйлөштүрүп, үч окту бойлото термелүүчү осциляторлордун жыйындысы катары карашат. Бир гармоникалык осциляторду бири-бирине салыштырмалуу термелген эки бөлүкчөнүн системасы катары элестетүүгө болот. Гармоникалык жакындаштырууда бул бөлүкчөлөрдүн термелүү кыймылынын энергиясы берилген температурада турактуу жана

$$\varepsilon_1 = \frac{kx_0^2}{2}$$

формуласы аркылуу аныкталарын билебиз, мында x_0 - бөлүкчөнүн тең салмактуу абалынан эң чоң алыстоо аралыгы же термелүүнүн амплитудасы.

Эгерде эсептөө системасынын башталышын бөлүкчөлөрдүн биринин борбору менен байланыштырып ε_1 дин термелүүчү молекулалардын арасындагы аралыктан көз карандылыгынын графигин тургузсак ал, жогорудагы теңдемеге ылайык, параболаны берет (25-сүрөт).



Классикалык осцилятордун энергиясы температурага жараша үзгүлтүксүз өзгөрөт. Сүрөттө түрдүү $T_1 < T_2 < T_3$ температураларда 2-бөлүкчөнүн 1-бөлүкчөгө салыштырмалуу абалынын өзгөрүшү жебелердин жардамында көрсөтүлгөн. Температуранын жогорулашы менен жебелердин узундугу, демек, бөлүкчөнүн термелүү амплитудасы өсөт, бирок бөлүкчөлөрдүн арасындагы орточо аралыкты сүрөттөгөн чекиттердин абалы өзгөрбөйт. Бул жакындаштырууда «ысыганда катуу нерселердин өлчөмдөрү өзгөрбөйт» деген жыйынтыкка келебиз.

Практикада байкалган катуу нерселердин жылуулуктан кеңейүү касиетин түшүнүү үчүн аны түзгөн бөлүкчөлөрдүн өз ара түртүшүү жана тартышуу күчтөрүнүн аралыктан көз карандылыктарын эске алуубуз зарыл. Молекулалардын өлчөмдөрүнө чамалаш өтө жакын аралыктарда

$$F_{\text{түрт}} \sim \frac{1}{r^{13}} \quad \text{ал эми} \quad F_{\text{тарт}} \sim \frac{1}{r^7} \quad \text{болот.}$$

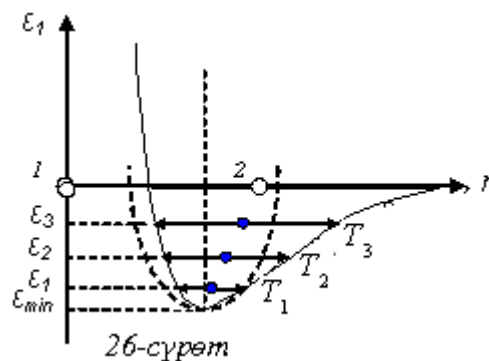
Натыйжада, бул күчтөрдүн тең аракет этүүчүсүнүн, демек, аны менен шартталган бөлүкчөлөрдүн аракеттенишүү энергиясынын аралыктан көз карандылыгы 25-сүрөттө көрсөтүлгөн парабола сымал ийриден айырмаланат. Сапаттык түрдө бул көз карандылыкты төмөнкүдөй көрсөтүүгө болот (26-сүрөт). Салыштыруу үчүн 25-сүрөттөгү парабола үзүк сызык аркылуу берилди. Эми жогорудагыдай эле талкууну кайталап, температуранын жогорулашы менен термелүүнүн амплитудасы чоңоерун, жана бул учурда бөлүкчөлөрдүн ортосундагы тең салмактуу аралык (чекиттер) да алыстап барарын көрөбүз.

Мына ошентип, кристаллдын температурасы өзгөргөндө аны түзгөн бөлүкчөлөрдүн арасындагы орточо аралык да өзгөрөт, бул кубулуш аягында кристаллдын өлчөмдөрүнүн өзгөрүшүнө алып келет.

Сүрөттөгү эки (үзгүлтүксүз жана үзүк сызык аркылуу берилген) ийрини өз ара салыштырып төмөнкү температураларда алар бири-биринен көп айырмаланбай тургандыктарын байкоого болот. Бул шарт анчалык жогору болбогон температураларда (температуранын бул мааниси заттын тегине жараша болот) кристаллдын бөлүкчөлөрүнүн термелүүлөрүн жакындаштырып *гармоникалык* мүнөздө деп эсептөөгө мүмкүндүк берет. Температуранын жогорулашы менен ийрилердин ортосунда айырмачылык көбөйө берет, бул учурларда бөлүкчөлөрдүн термелүүлөрүн гармоникалык деп эсептөөгө болбойт. Мындай термелүүлөрдү гармоникалык эмес же *ангармоникалык термелүүлөр* деп аташат.

Демек, катуу заттардын жылуулуктан кеңейүүсүн анын бөлүкчөлөрүнүн термелүү кыймылынын ангармоникалык мүнөзүн эсепке алуу менен гана түшүндүрө алабыз. Нерселердин жылуулуктан кеңейүүсү сандык жактан *сызыктуу* жана *көлөмдүк кеңейүү коэффициенттери* менен мүнөздөлөт.

Айталы, берилген металл стержендин 0°C температурадагы узундугу ℓ_0 , ал эми $t^\circ\text{C}$ температурадагы узундугу ℓ_t болсун. Анда стерженди 0°C дан $t^\circ\text{C}$ га чейин ысытуудан узундугунун өзгөрүшү $\ell_t - \ell_0$ болот. Ысытуудан стержендин бирдик узундугунун өзгөрүшү *салыштырма узаруу* деп аталат жана



$$\frac{\ell_t - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

туюнтмасы менен аныкталат. Анда стерженди $1^\circ C$ га ысытууда бирдик узундугунун өзгөрүшү

$$\frac{\ell_t - \ell_0}{\ell_0 t^0} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0 t^0} = \alpha \quad (2.10.1)$$

болот жана бул чоңдук *сызыктуу кеңейүү коэффициентинин* үчүн кабыл алынат. Мына ошентип, *сызыктуу кеңейүүнүн коэффициентинин* – *стерженди $1^\circ C$ га ысытканда анын бирдик узундугунун өзгөрүшүнө барабар* болгон физикалык чоңдук жана анын сан мааниси заттын тегине жараша болот. (2.10.1)-формуладан

$$\ell_t = \ell_0(1 + \alpha t^0) \quad (2.10.2)$$

туюнтмасына ээ болобуз. Демек, металл стержендин узундугу анын температурасына түз пропорциялаш болот. (2.10.1)- же (2.10.2)- туюнтмадан α ны табуу үчүн стержендин $0^\circ C$ кезиндеги узундугун (ℓ_0) билишибиз зарыл. Ошондуктан аны башка жол менен табууга аракет кылалы. Эгерде стержендин баштапкы t_1^0 температурадагы узундугу ℓ_1 , ал эми t_2^0 ге чейин ысыткандагы узундугу ℓ_2 болсо, анда (2.10.2)- формуланы бул эки учур үчүн колдонуп,

$$\ell_1 = \ell_0(1 + \alpha t_1^0) \quad \text{жана} \quad \ell_2 = \ell_0(1 + \alpha t_2^0)$$

деп жазууга болот. Бул эки теңдемени биргеликте чечип,

$$\alpha = \frac{\ell_2 - \ell_1}{\ell_1 \cdot t_2^0 - \ell_2 \cdot t_1^0} \quad (2.10.3)$$

ээ болобуз. Эми ℓ_0 ду билүүнүн зарылчылыгы болбой калды.

Нерсенин сызыктуу өлчөмдөрүнүн кеңейүүлөрүнүн натыйжасында көлөмү да кеңеет. *Көлөмдүк кеңейүүнүн коэффициентинин сан жагынан нерсени $1^\circ C$ га ысытканда, анын бирдик көлөмүнүн өзгөрүшүнө, б.а., аны $1^\circ C$ га ысыткандагы салыштырма кеңейүүгө барабар:*

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t^0} = \frac{\Delta V}{V_0 t^0} \quad (2.10.4)$$

Мындан

$$V_t = V_0(1 + \beta t^0) \quad (2.10.5)$$

Демек, нерсенин көлөмү да температурага сызыктуу көз каранды болот.

Анизотроптук нерселер, мисалы, монокристаллдар үчүн көлөмдүк жана сызыктуу кеңейүүлөрдүн коэффициенттеринин байланышы $\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ көрүнүшүнө ээ. Мында $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - нерсенин түрдүү

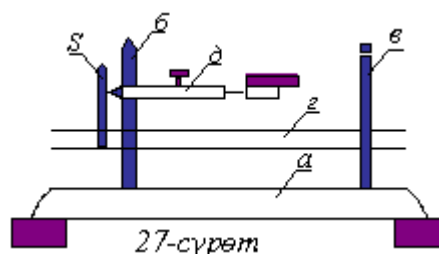
багыттар боюнча сызыктуу өлчөмдөрүнүн жылуулуктан кеңейүү коэффициенттери. Изотроптук нерселер үчүн, мисалы, поликристаллдарда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ болгондуктан, $\beta = 3\alpha$ болот.

Жалпысынан алганда, сызыктуу жана көлөмдүк кеңейүүлөрүнүн коэффициенттери α жана β температурага көз каранды болушат. Температуранын анчалык чоң болбогон интервалында α жана β нын өзгөрүүлөрү эске албай коюуга мүмкүн болгондой кичине болгондуктан, аларды турактуу деп алабыз. Чындыгында, температуранын сезилээрлик төмөндөшү менен α жана β нын маанилери азаят жана $T \rightarrow 0K$ умтулганда, алар да нөлгө умтулат.

Курулманын баяндамасы жана өлчөөнүн усулу

Курулма (27-сүрөт) “б” жана “в” эки түркүкчөсү бар “а” койгучтан турат.

Түркүкчөлөрдүн арасына изилденүүчү “г” металл түтүгү жайгаштырылат. “в” түркүгү металл түтүгү үчүн кыймылсыз таяныч болуп, бурама кыскач менен жабдылган. Түтүктүн бир учуна жакын S



пластинка ширетилген. Түтүктүн узарышы “д” индикатору менен өлчөнөт. Курулманы жыйноодо түтүктүн S пластинкасы индикатордун кыймылдуу бөлүгүнүн учу оңго-солго бирдей жыла ала тургандай ортоңку абалда бекитилет. Түтүктүн “жумушчу бөлүгү” болуп, анын S пластинкасынын ички бети менен “в” түркүкчөсүнүн арасындагы бөлүгү эсептелет.

Металл түтүгү анын ичи аркылуу өтүүчү буу менен бир калыпта ысытылат; ысытуудан түтүк узарат, S пластинкасы солго карай четтейт; индикатордун көрсөтүүсү n өзгөрөт, түтүктүн узаруусу $l_2 - l_1$ өлчөнөт.

Бул иште түтүктүн узундугунун өзгөрүшү, шкаласынын бир бөлүмү $0,01mm$ ге барабар индикатор менен өлчөнөт.

Айталы, түтүктүн температурасы t_1^0C болгондо индикатордун көрсөтүүсү n_1 , ал эми t_2^0C болгондо n_2 болсун. Анда түтүктүн узундугунун өсүндүсү

$$l_2 - l_1 = 0,01 \cdot (n_2 - n_1) \text{ мм} \quad (2.10.6)$$

болот.

(2.10.6)-формуланы (2.10.3) кө коюп, l_1, l_2 лерди мм аркылуу туюнтуп, α нын мааниси эсептелүүчү төмөнкү формулага ээ болобуз:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t_2^0 - l_2 t_1^0} = \frac{0,01(n_2 - n_1)}{l_1 t_2^0 - l_2 t_1^0} \quad (2.10.7)$$

Бул ишти аткарууда бөлмөдөгү металл түтүгү буу менен ысытылгандыктан, t_1^0 температурасы үчүн бөлмөнүн, ал эми t_2^0 температурасы үчүн буунун температурасы алынат. Ошондуктан тажрыйбаны кайталаганда стержендин баштапкы температурасы t_1^0 бөлмө температурасына барабар болгуча күтүү зарыл. Буунун температурасын

$$t_2^0 = 100 + 0,0375 (H - 760) \quad (2.10.8)$$

формуласы боюнча аныктоого болот, мында H - бөлмөдөгү абанын басымы *(мм.с.м.мам. менен туюнтулат)*

Ишти аткаруунун тартиби

1. Тандап алган металл түтүгүн койгучка орноткула (27-сүрөт). Аны оңго жылдырып, S пластинкасын индикатордун кыймылдуу учуна такап бекиткиле. Бул учурдагы индикатордун көрсөтүүсү n_1 ди жазып алгыла.
2. Түтүктүн баштапкы t_1^0 температурасын билүү үчүн бөлмөдөгү абанын температурасын өлчөгүлө. Масштабдуу сызгыч менен түтүктүн жумушчу бөлүгүнүн узундугун өлчөгүлө.
3. Металл түтүктү буу менен ысыта баштагыла. Бул үчүн резина түтүгүнүн жардамында суусу кайнап жаткан айнек идиштеги бууну металл түтүгү аркылуу өткөргүлө. Индикатордун жебесин көзөмөлдөгүлө жана анын кыймылы токтогондо, индикатордун кийинки учурдагы көрсөтүүсү n_2 ни жазып алгыла. Түтүктүн Δl узаруусун $\Delta l = l_2 - l_1 = 0,01 \cdot (n_2 - n_1)$ жана анын кийинки l_2 узундугун $l_2 = l_1 + \Delta l$ формуласы боюнча аныктагыла.
4. Металл түтүк ысып жеткен t_2^0 температурасын өлчөгүлө. t_2^0 үчүн буунун - суунун кайноо температурасын алгыла.
5. $t_1^0, l_1, n_1, t_2^0, n_2$ жана l_2 нин маанилерин (2.10.7)-формулага коюп, α ны аныктагыла. Тажрыйбаны 3 жолу кайталагыла.
6. Тажрыйбаны башка металлдардан жасалган түтүктөр менен да үч жолудан кайталап, алардын сызыктуу кеңейүү коэффициенттерин аныктагыла, алынган натыйжаларды таблицаларга түшүргүлө:

1-таблица, Си (жез)

чондуктар	t_1^0	l_1	n_1	t_2^0	n_2	l_2	α	$\bar{\alpha}$	$\overline{\Delta\alpha}$	$\frac{\overline{\Delta\alpha}}{\bar{\alpha}} 100\%$
чен бирдиги										
1										
2										
3										

2-таблица Болот.

чондуктар	t_1^0	l_1	n_1	t_2^0	n_2	l_2	α	$\bar{\alpha}$	$\overline{\Delta\alpha}$	$\frac{\overline{\Delta\alpha}}{\bar{\alpha}} 100\%$
чен бирдиги										
1										
2										
3										

7. Түрдүү металлдардын α ларынын маанилерин өз ара жана таблицадагы маанилерине салыштырып тиешелүү тыянак чыгарууга аракет жасагыла.

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Катуу заттардын сызыктуу өлчөмдөрүнүн жана көлөмүнүн жылуулуктан өзгөрүүлөрүн МКТ нын негизинде түшүндүргүлө.
2. Сызыктуу жана көлөмдүк кеңейүү коэффициенттеринин (α жана β) физикалык маанилерин айтып бергиле.
3. Катуу заттардын сызыктуу жана көлөмдүк кеңейүү коэффициенттеринин маанилери алардын кристаллографиялык багыттарына жана тегине жараша түрдүүчө болушарын молекулалык-кинетикалык көз караш боюнча түшүндүргүлө.
4. Катуу заттардын жылуулуктан кеңейүүлөрүнүн термикалык коэффициентин аныктоонун бул жумушта колдонулган усулун негиздегиле.
5. Заттардын жылуулуктан кеңейүүлөрүнүн турмушта жана техникада эске алынууларына мисалдарды келтиргиле.
6. Өлчөмдөрү жылуулуктан өтө чоң өзгөрүүчү жана дээрлик өзгөрбөөчү таза жана куйма катуу заттардан мисалдар келтиргиле.

2.11. СУЮКТУКТАРДЫН КӨЛӨМДҮК КЕҢЕЙҮҮСҮНҮН ТЕРМИКАЛЫК КОЭФФИЦИЕНТИН АНЫКТОО

Иштин максаты: суюктуктардын көлөмдүк кеңейүүсүнүн термикалык коэффициентин аныктоону окуп үйрөнүү.

Иштин жабдылышы: катыш идиштер, термометрлер, глицерин, диаметрлери бирдей болгон 2 айнек түтүк, суу, электр ысыткычы.

Иштин кыскача теориясы

Суюктуктарды ысытканда алардын көлөмүнүн салыштырмалуу өзгөрүүсү металлдарга салыштырмалуу ондогон эсе чоң, б. а. $\beta_c \gg \beta_m$. Суюктуктардын көлөмдүк кеңейүүсүнүн β термикалык коэффициентинин маанисин алардын көлөмүнүн температурасынан көз карандылыгын туюнткан

$$V_t = V_0(1 + \beta t^0) \quad (2.11.1)$$

формуласынан пайдаланып эсептөө үчүн суюктуктун $t = 0^0 C$ кезиндеги көлөмүн билүү зарыл. Лабораториялык шартта V_0 ду аныктоо бир топ кошумча түйшүктү талап кылат, ал эми жекече учурда, таза сууну муздатканда анын β сы кошо кичирейет да $4^0 C$ га жеткенде белгисин карама-каршысына өзгөртөт, ал эми $0^0 C$ да суу тоңо баштайт. Бул факт таза суу муздаганда анын көлөмү, (2.11.1)-формулага ылайык кичирейип отуруп, $4^0 C$ дан баштап $0^0 C$ га чейин кайрадан чоңоет дегенди билдирет. Суу тез муздап тоңгон кезде анын идишинин (мисалы, айнек бөтөлкөлөр, түтүктөр жана радиаторлор) жарылып кетишин суунун көлөмдүк кеңейүүсүнүн жогорудагыдай аномалиясы менен гана түшүндүрө алабыз.

Ошондуктан, β ны, металлдардын α сын аныктаган сыяктуу эле, суюктуктардын түрдүү t_1^0 жана t_2^0 температураларындагы көлөмдөрүнүн катышынан аныктоого аракет кылалы.

Эгерде изилденүүчү суюктуктун температурасы t_1^0 кезиндеги көлөмү

$$V_1 = V_0(1 + \beta t_1^0),$$

жана t_2^0 кезиндеги көлөмү

$$V_2 = V_0(1 + \beta t_2^0)$$

болсо анда

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_0(1 + \beta t_2^0)}{V_0(1 + \beta t_1^0)} = \frac{1 + \beta t_2^0}{1 + \beta t_1^0} \quad (2.11.2)$$

болот.

Эгерде суюктук туурасынан кесилиш аянты S турактуу, мисалы, цилиндр формасындагы, идишке куюлган болсо, анда анын түрдүү эки температурадагы көлөмдөрүнүн катышы тиешелүү температуралардагы суюктуктун мамычаларынын бийиктиктеринин катышына барабар болот:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{sh_2}{sh_1} = \frac{h_2}{h_1} . \quad (2.11.3)$$

(2.11.2) жана (2.11.3) теңдемелерди өз ара салыштырып

$$\frac{1 + \beta t_2}{1 + \beta t_1} = \frac{h_2}{h_1} \quad (2.11.4)$$

барабардыгына ээ болобуз. Мындан

$$\beta = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2^0 - h_2 t_1^0} . \quad (2.11.5)$$

Демек, эми β ны эсептөө үчүн изилденүүчү суюктуктун мамычасынын t_1^0 жана t_2^0 температураларындагы бийиктиктерин (h_1 жана h_2) аныктоо жетиштүү. Ал үчүн суюктукту тик коюлган цилиндр формасындагы кең (демек, капиллярдык кубулуштар таасир этпегендей) идишке куюп, аны бир калыпта ысытабыз жана тең салмактуу t_1^0 , t_2^0 температураларында анын түбүнөн ачык бетине чейинки аралыктарды (h_1 , h_2) өлчөп алабыз. Чоңдуктардын маанисин (2.11.5)-формулага коюп β нын температуранын t_1^0 ден t_2^0 ге чейинки интервалындагы орточо маанисин табабыз. Анткени, жалпы учурда, β температурага көз каранды. Мисалы, таза суунун температурасы $20^\circ C$ дан $80^\circ C$ га чейин көтөрүлгөндө анын β сы болжол менен 3 эсече көбөйөт.

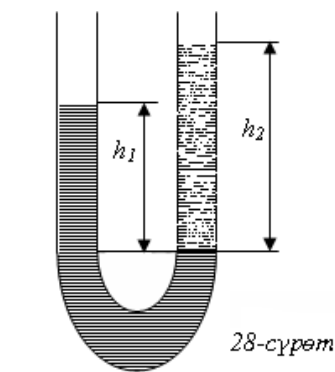
Эксперименталдык курулма жана ишти аткаруунун усулу

Бул иште глицериндин көлөмдүк кеңейүүсүнүн термикалык коэффициентин катыш идиштер законуна, б.а. кең катыш идиштердеги түрдүү суюктуктардын тең салмактуулук шартына таянып аныктайбыз.

Тыгыздыктары ρ_1 жана ρ_2 болгон эки бири- бири менен аралашпоочу суюктук кең катыш идиште

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad (2.11.6)$$

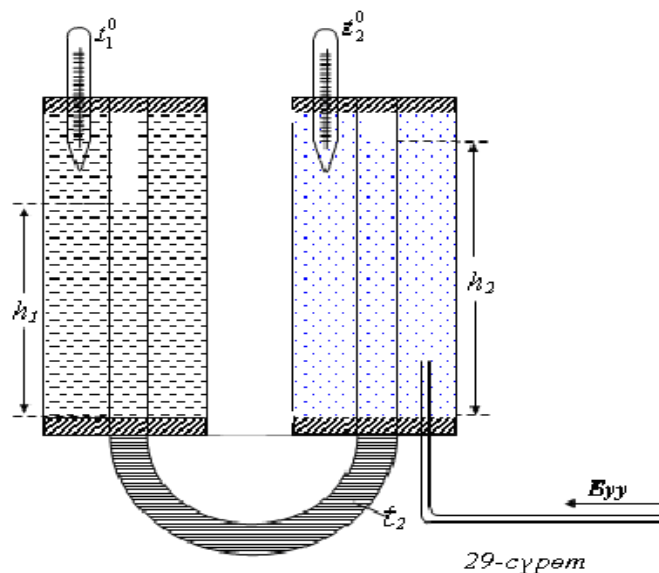
шартын канааттандырганда өз ара тең салмактуулукта болот (28-сүрөт), мында h_1 жана h_2 - ал суюктуктардын мамычаларынын бийиктиктери. (2.11.6)-шарты катыш идиштин бутактарындагы суюктуктардын мамычаларынын статикалык басымдарынын өз ара барабардыгынын натыйжасы.



Кең катыш идиштердеги суюктуктардын түрдүүчөлүгү жөнүндө сөз кылганда алардын тыгыздыктарынын гана айырмачылыгын түшүнүшөт. Мисалы, химиялык бир тектүү суюктуктун катыш идиштин бардык бөлүгүндөгү температуралары бирдей болсо, алардын деңгээлдери да тең болот: $h_1 = h_2$. Суюктуктун тыгыздыгы анын температурасына жараша өзгөргөндүктөн, катыш идиштин түрдүү бутактарындагы мындай суюктуктун температуралары түрдүүчө болушса, анда алардын деңгээлдери да түрдүүчө болот: мисалы, $t_2 > t_1$, анда $\rho_1 > \rho_2$, демек, (2.11.6) теңдемеге ылайык, $h_2 > h_1$.

Демек, катыш идиштин ысык жана муздак бутактарындагы суюктуктардын мамычаларынын өз ара тең салмактуулук шартынан h_2 жана h_1 лерди аныктап (2.11.5)-формулананын жардамында β нын орточо маанисин эсептей алабыз.

Эксперименталдык курулма – изилденүүчү суюктук (глицерин) куюлган жана тактайга тик орнотулган катыш идиштен – бири-бири менен резина түтүкчөсү аркылуу туташтырылган, диаметрлери бирдей эки айнек түтүктөрүнөн турат (29-сүрөт). Бул түтүктөр ага караганда кеңирээк түтүктөр – адаиабаттык «көйнөкчөлөр» менен курчалган. Алардын бирине муздак суу толтурулат, экинчисине ысык буу киргизилет. Буудан жылуулук алган глицерин ысып кеңейет, б.а. анын ысытылган мамычасынын деңгээли көтөрүлөт. Тең салмактуулук абалындагы глицериндин ысык жана муздак мамычаларынын бийиктиктерин өлчөп, (2.11.5)-формулананын жардамында β нын түрдүү температуралык интервалдардагы орточо



маанисин эсептеп чыгарабыз. Мамычалардын бийиктиги глицериндин ысык жана муздак бөлүгүн бөлгөн чек аранын деңгээлинен жогору өлчөнөт (29-сүрөт).

Глицеринди буунун жардамында ысытуу анын бардык бөлүктөрүнүн бир калыпта ысышын толук камсыз кыла албайт, бул өз кезегинде, өлчөөлөрдүн тактыгына тескери таасирин тийгизет. Ошондуктан, ысытууну жайыраак, мамычадагы глицериндин бардык бөлүктөрү бирдей ысып үлгүргөндөй темпте жүргүзүүгө жана ар бир $15 - 20^{\circ}$ тан кийинки мамычанын тиешелүү бийиктигин өлчөөгө аракет кылуу зарыл. (2.11.5)-формуладагы t_1^0 жана t_2^0 үчүн кайсы температураларды пайдалангандыгыбызга жараша β нын ошол интервалдагы орточо маанисин аларыбызды эстен чыгарбоо керек.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Курулма менен таанышып чыккыла, анын тик турушун текшергиле. Термометрлерди тандап орноткула.
2. Идишке суу куюп, резина түтүкчө өткөрүлгөн тыгын менен жапкыла да аны курулмага кошкула.
3. Ал идишти электр ысыткычына коюп ысыта баштагыла.
4. Катыш идиштин муздак бөлүгүндөгү глицериндин температурасын (t_1) жана бийиктигин (h_1) таблицага түшүргүлө.
5. Суу кайнап, «көйнөкчөгө» буу бериле баштаганда андагы термометрдин көрсөтүүсүнө көз салып, ар бир $15 - 20^{\circ}$ ка ысыгандагы температураларды жана глицериндин мамычасынын тиешелүү бийиктиктерин өлчөп таблицага жазгыла.
6. (2.11.5)-формулану пайдаланып глицериндин көлөмдүк кеңейүү коэффициентин аныктагыла.

чоңдуктар	t_1^0	t_2^0	h_1	h_2	β	$\bar{\beta}$	$\Delta\beta$	$\overline{\Delta\beta}$	$\frac{\overline{\Delta\beta}}{\bar{\beta}} \cdot 100\%$
чен бирдиги									
1									
2									
3									

Тыянак: Глицериндин көлөмдүк кеңейүүсүнүн _____ $^{\circ}\text{C}$ дан _____ $^{\circ}\text{C}$ га чейинки интервалдагы орточо термикалык коэффициентини

$\beta = \bar{\beta} \pm \Delta \bar{\beta} = \underline{\hspace{2cm}}$. Температуранын жогорулашы менен глицериндин β сы _____

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Суюктуктардын жылуулуктан кеңейүү касиетин МКТ негизинде түшүндүргүлө.
2. Сызыктуу жана көлөмдүк кеңейүү коэффициенттеринин (α жана β) физикалык маанилери жана алардын өз ара байланышы.
3. Суунун көлөмдүк кеңейүү коэффициентинин температурадан көз карандылыгынын өзгөчөлүктөрү жана аны эсепке алуу.
4. Суюктуктардын жылуулуктан көлөмдүк кеңейүү коэффициентин аныктоонун бул иште колдонулган усулун негиздегиле.
5. Суюктуктардын жылуулуктан кеңейүүлөрүнүн турмушта жана техникада эске алынууларына мисалдарды келтиргиле.

2.12. КАТУУ ТЕЛОЛОРДУН ЖЫЛУУЛУК ӨТКӨРҮМДҮҮЛҮК КОЭФФИЦИЕНТИН АНЫКТОО

Иштин максаты: катуу заттардагы жылуулук өткөрүмдүүлүк кубулушун окуп-үйрөнүү жана металлдын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин аныктоо.

Иштин жабдылышы: курулма, штангенциркуль, термометрлер, секундомер, мензурка, ысыткыч, масштабдуу сызгыч.

Иштин кыскача теориясы

Заттардын түзүлүшү жөнүндөгү молекулалык-кинетикалык көз караштар *ташуу кубулуштары* деп аталышкан бир топ белгилүү кубулуштарды түшүндүрүүгө мүмкүндүк берет. Ташуу кубулуштарына заттардагы диффузия, ички сүрүлүү, жылуулук өткөрүмдүүлүк, электр өткөрүмдүүлүк кубулуштары мисал боло алат. Бул кубулуштардын ар биринде чөйрөнүн бир бөлүгүнөн коңшулаш бөлүгүнө кандайдыр бир чоңдук, мисалы, зат, масса, кинетикалык энергия, импульс же заряд ташылат.

Заттын жылуулук кыймылына катышып жаткан молекулалары бири-бири менен тынымсыз кагылышып жатканда кинетикалык энергиянын, импульстун бир молекуладан башкасына берилиши

табигый көрүнүш. Мында дайыма энергия жана импульс тез кыймылдаган молекуладан жай кыймылдаган молекулага берилет. Молекулалардын ортосундагы мына ушундай микроскопиялык кагылышуулардын натыйжасында чөйрөнүн бир бөлүгүнөн башка бөлүгүнө артыкча кинетикалык энергиянын жана импульстун ташылышы сыяктуу макроскопиялык кубулуштар байкалат.

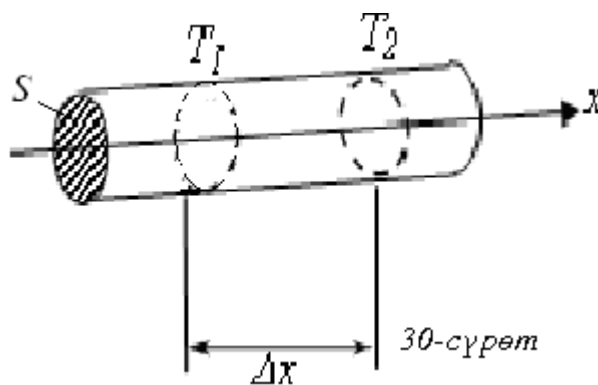
Заттардын жылуулукту өткөрүү механизмдерин карап көрөлү. Ар бир молекула бир кагылышуудан кийин ээ болгон ылдамдыгын, демек, кинетикалык энергиясын, экинчи удаалаш кагылышууга чейин турактуу сактайт. Муну ар бир молекула өзүнүн кинетикалык энергиясын орточо эркин жол узундугунчалык аралыкка өзгөртпөй ташып жеткизет деп түшүнсөк болот. Кийинки кагылышуунун натыйжасында анын кинетикалык энергиясы өзгөрөт. Чөйрөнүн бардык бөлүктөрүнүн температуралары (демек, бөлүкчөлөрүнүн орточо кинетикалык энергиялары) бирдей болгон учурда молекулалардын баш аламан жылуулук кыймылдарынын натыйжасында өз ара энергия алмашуулары ички энергиянын чөйрөнүн бир бөлүгүнөн башка бөлүгүнө ташылышына алып келбейт. Эгерде чөйрөнүн коңшулаш бөлүктөрүнүн температуралары бири биринен айырмалуу болсо, анда нерсенин ысыгыраак бөлүгүнөн муздагыраак бөлүгүнө ички энергия өтөт, б.а. физикада *жылуулук өткөрүмдүүлүк* деп аталган белгилүү кубулуш жүрөт. Суюк жана газ түрүндөгү туташ чөйрөлөрдө жылуулукту чөйрөнүн тынымсыз, баш аламан алга умтулуу кыймылында болушкан молекулалары «ташышат».

Катуу, кристаллдык түзүлүштөгү заттардын жылуулукту өткөрүү механизми башкача. Суюктуктардан жана газдардан айырмаланып, катуу заттардын бөлүкчөлөрү кристаллда эркин жүрө алышпайт. Алар кристаллдык торчонун түйүндөрү деп аталуучу өздөрүнүн тең салмактуу абалдарынын чекебелинде термелүү кыймылдарын гана жасашат. Молекулалык күчтөрдүн аракетин астында бир атомдун термелүүсү экинчи атомго берилет. Натыйжада, жылуулук тең салмактуулугундагы катуу заттардын бөлүкчөлөрү «*кристаллдык термелүүлөр*» деп аталган татаал, коллективдүү термелүү кыймылында болушат. Кристаллдык термелүүлөрдүн интенсивдүүлүгү анын температурасына көз каранды. Кристаллдын түрдүү бөлүктөрүнүн температуралары түрдүүчө болуп калган учурларда кристаллдарда да, «ашыкча» термелүүлөрдүн таралышынын эсебинен, жылуулук ташылат. Жылуулук өткөрүүнүн мындай механизми катуу диэлектриктер үчүн мүнөздүү.

Металлдарда да жылуулук, диэлектриктердеги сыяктуу, кристаллдык торчонун түйүнүндөгү бөлүкчөлөрдүн термелүүлөрү

аркылуу берилиши мүмкүн. Бирок, диэлектриктерден айырмаланып, металлдын кристаллдык торчосунун түйүндөр аралык мейкиндигинде *эркин электрондору* бар. Алардын концентрациясы өтө чоң, сан жагынан ал торчонун түйүнүндөгү атомдордун концентрациясына барабар: $n \approx (10^{22} - 10^{23}) \text{см}^{-3}$. Идеалдуу газдын молекулалары сыяктуу тынымсыз баш аламан жылуулук кыймылында болушкан бул эркин электрондор металлдардын жылуулук өткөрүү процессинде энергия ташуучу негизги бөлүкчө болуп эсептелишет. Бул процессте электрондор алып өткөн энергиянын үлүшү кристаллдык торчо аркылуу ташылган энергияга караганда алда канча көп. Ошондуктан металлдар диэлектриктерге караганда жылуулукту жакшы өткөрүшөт.

Мына ошентип, нерсенин ысык катмарынан муздак катмарына, бул катмарлардын температуралары теңелгенге чейин, өз алдынча жылуулук ташылат. Нерсенин ысык катмарынан муздак катмарына бир калыпта, б.а. бирдей убакыт интервалында бирдей



сандагы жылуулук ташылып турсун үчүн, ал катмарлардын температураларынын айырмасын турактуу сактоо керек. Бул шарт аткарылган учурда цилиндр формасындагы нерсенин (30-сүрөт) температурасы T_1 болгон катмарынан температурасы T_2 болгон катмарына τ - убакытта ташылган жылуулук саны *Фурьенин*

$$\Delta Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta X} S \tau \quad (2.12.1)$$

закону боюнча аныкталат.

Мында:

χ - нерсени түзгөн заттын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти,

ΔT - нерсенин түрдүү эки катмарынын температураларынын айырмасы ($T_1 > T_2$),

ΔX - ал катмарлардын арасындагы аралык,

$\frac{\Delta T}{\Delta X}$ - температуранын градиенти; бул чоңдук температуранын

аралыктан өзгөрүшүн мүнөздөйт жана сан жагынан температуранын бирдик аралыктагы өзгөрүшүнө барабар,

S - нерсенин туура кесилиш аянты.

Демек, *нерсенин температурасы жогору болгон катмарынан температурасы төмөн болгон катмарына ташылган жылуулук саны*

температуранын градиентине, нерсенин туура кесилиш аянтына жана убакытка түз пропорциялаш (Фурьенин закону).

Фурьенин законунда «-» минус белгиси температуранын градиенти $\frac{\Delta T}{\Delta x} < 0$ болгондуктан, ташылган жылуулук саны ΔQ ну он белгиде алуу үчүн коюлган.

Фурьенин законунан көрүнүп тургандай, эгерде $-\frac{\Delta T}{\Delta x}$, s жана τ бир бирдиктен болсо, анда $\Delta Q = \chi$ болот. Демек, жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери - температуранын градиенти бир бирдикке барабар болгондо, бирдик аянттан бирдик убакытта ташылган жылуулуктун санына барабар чоңдук. Заттардын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери температурага көз каранды. Бирок, температуранын анчалык чоң эмес интервалдарында бул көз карандылык дээрлик байкалбайт.

Металлдарда электр тогун эркин электрондор «ташыйт». Аларда жылуулукту да негизинен эркин электрондор «ташыйт». Ошондуктан бирдей температурада түрдүү металлдардын ичинен кайсы металл жылуулукту жакшы өткөрсө, ошол металл токту да жакшы өткөрөт (Видеман-Францтын закону).

Жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери χ заттын тегинен да көз каранды. Бирдей температурадагы түрдүү заттардын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттеринин маанилерин өз ара салыштырып алардын жылуулук өткөрүү жөндөмдүүлүктөрү канчалык даражада бири-биринен айырмаланышарын баалай алабыз. Жогоруда белгилегендей металлдардын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери, андагы жылуулуктун ташылышынын өзгөчөлүгүн чагылтып, эки түзүүчүдөн турат:

$$\chi = \chi_T + \chi_\Delta,$$

мында χ_T - металлдын «торчолук» жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери; χ_Δ - металлдын «электрондук» жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери. Төмөнкү температураларда $\chi_T < \chi_\Delta$, анткени, бул учурда жылуулукту негизинен эркин электрондор ташыйт. Температуранын жогорулашы менен жылуулуктун торчодогу иондордун термелүүлөрү аркылуу таралышы да сезилээрлик боло баштайт.

Классикалык көз караш боюнча металлдардын «электрондук газынын» жылуулукту өткөрүшү идеалдуу газдын жылуулукту өткөрүшүнө окшош болот. Ошондуктан металлдардын электрондук жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенттери χ_Δ үчүн идеалдуу газдын

молекулалык-кинетикалык теориясынан келтирип чыгарылган жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентинин

$$\chi_{\text{э}} = \frac{1}{2} k n_{\text{э}} \bar{\lambda}_{\text{э}} \bar{v}_{\text{э}} \quad (2.12.2)$$

формуласын колдонууга болот.

Мында:

k - Больцман турактуусу,

$n_{\text{э}}$ - металлдын эркин электрондорунун концентрациясы,

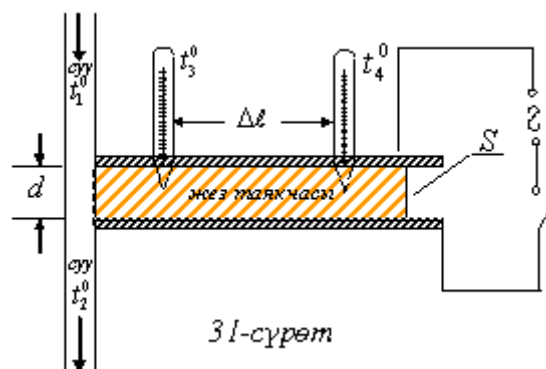
$\bar{\lambda}$ - эркин электрондордун орточо эркин жол аралыгы,

$\bar{v}_{\text{э}}$ - эркин электрондордун жылуулук кыймылынын орточо ылдамдыгы.

Демек, металлдардын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти андагы эркин электрондордун концентрациясына түз пропорциялаш. Бул тыянакты **Видеман-Францтын закону** да ырастайт.

Ток менен ысытуу усулун колдонуп катуу заттын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин аныктоо

Бул жумушта туура кесилиш аянты S турактуу болгон цилиндр формасындагы металл (жез) таякчанын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти аныкталат (31-сүрөт). Металл таякчанын туура кесилишинен *бирдик убакытта* өткөн жылуулуктун саны



$$Q = -\chi \frac{\Delta t}{\Delta \ell} S, \quad (2.12.3)$$

мында $\frac{\Delta t}{\Delta \ell}$ - температуранын градиенти. Металл таякчанын бир учун агын суу менен муздатып, экинчи учун ток өтүп жаткан түрмөк менен ысытып, температуранын градиентинин турактуулугун камсыз кылууга болот. Бул үчүн таякчанын учуна суу агып өткүдөй кылып тешик жасалат. Айталы ушул тешиктен бирдик убакытта агып өткөн суунун массасы m болсун. Суу таякчадан өтүп жатканда, андан белгилүү жылуулук санын алгандыктан, ысыйт. Суунун баштапкы температурасы t_1 , таякчадан агып өткөндөн кийинки температурасы t_2 болсун. Демек, $t_2 > t_1$. Анда таякчанын учундагы тешиктен *бирдик убакытта* агып өткөн суунун таякчадан алган жылуулугу

$$Q = cm(t_2^0 - t_1^0) \quad (2.12.4)$$

ге барабар, мында c – суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу. Эгерде металл таякчанын каптал бетинен сырткы чөйрөгө берилген жылуулук эске албай коюуга мүмкүн болгондой аз болсо, анда (2.12.3)-жана (2.12.4)-формулардан

$$\chi = \frac{cm(t_2^0 - t_1^0)}{-\frac{\Delta t^0}{\Delta \ell} S} \quad (2.12.5)$$

ээ болобуз. Металл таякчанын ысык учунун температурасы t_4 , муздак учунун температурасы t_3 болсун. Анда $\Delta t^0 = -(t_3 - t_4) = t_4 - t_3$ болот. Муну эске алсак, (2.12.5)- формула

$$\chi = \frac{cm(t_2^0 - t_1^0)\Delta \ell}{(t_4^0 - t_3^0)S} \quad (2.12.6)$$

көрүнүшүндө жазылат. m ди аныктайлы.

Айталы, белгилүү τ убакытта металл таякчанын муздатылып жаткан учунан агып өткөн суунун көлөмү V болсун, анда бирдик убакытта агып өткөн суунун көлөмү V/τ , ал эми массасы

$$m = \frac{V}{\tau} \rho \quad (2.12.7)$$

болот, мында ρ - суунун тыгыздыгы. Эгерде таякчанын диаметри d болсо, анда анын туура кесилишинин аянты

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \quad (2.12.8)$$

формуласы боюнча аныкталат.

(2.12.7)- жана (2.12.8)- туюнтмаларды (2.12.6)-формулага койсок,

$$\chi = \frac{4V\rho(t_2^0 - t_1^0)\Delta \ell}{\pi d^2 \tau (t_4^0 - t_3^0)} \quad (2.12.9)$$

болот.

Мына ошентип, тажрыйбада металл таякчанын узундугун жана туура кесилишинин диаметрин ($\Delta \ell$ жана d), анын ысык жана муздак учтарынын температураларын (t_4^0 жана t_3^0), таякчанын муздак учундагы тешиктен агып чыккан суунун көлөмүн жана агуу убакытын (V жана τ), ушул суунун баштапкы жана кийинки температураларын (t_1^0 жана t_2^0) өлчөп, алынган натыйжаларды (2.12.9)-формулага коюп, изилденип жаткан металлдын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин аныктоого болот.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Жез таякчанын термометрлер орнотулуучу чуңкурлар арасындагы бөлүгүнүн $\Delta \ell$ узундугун жана асбест менен оролбогон ачык бөлүгүнүн диаметрин өлчөгүлө.
2. Таякчанын бир учунан муздатуучу сууну агызгыла. Ал эми экинчи учун ысыткыч менен ысыткыла. Бул үчүн таякчанын учуна оролгон түрмөккө автотрансформатордон $U = 60A$ чыңалууну бергиле. Түрмөк ток өткөндө ысып, таякчанын учун ысытат.
3. Термометрлердин көрсөтүүлөрүн көзөмөлдөгүлө. Бардык термометрлердин көрсөтүүлөрү турукташканда, t_1^0, t_2^0, t_3^0 жана t_4^0 ту өлчөгүлө, мында:
 - t_1^0 - агын суунун баштапкы температурасы,
 - t_2^0 - агын суунун жез таякчанын учундагы тешиктен агып чыккандан кийинки температурасы,
 - t_3^0 - жез таякчанын муздак учунун температурасы,
 - t_4^0 - жез таякчанын ысык учунун температурасы.
4. Таякчанын учун муздатуучу агын суунун сарпталыш тездигин (Ic ичинде агып өткөн суунун көлөмүн) аныктагыла. Ал үчүн суунун кайсы бир V_0 көлөмүнүн агып өтүү убактысы τ_0 ду же мензурка менен τ убактысы ичинде агып өткөн суунун көлөмү V ны аныктоо зарыл.
5. Эгерде таякчанын учуна агып кирген жана агып чыккан суулардын температураларынын айырмасы өтө аз болсо, анда тажрыйбаны, суунун агымын азайтып, кайталагыла.
6. $\Delta \ell, d, t_1^0, t_2^0, t_3^0, t_4^0, V$ жана τ нын маанилерин (2.12.9)-формулага коюп, жездин жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин аныктагыла.
7. Түрмөктүн учтарына автотрансформатордон берилүүчү чыңалууну өзгөртүп ($60B, 70B$ жана $80B$) тажрыйбаны 3 жолу кайталагыла.
8. Өлчөөлөрдүн жана эсептөөлөрдүн натыйжаларын төмөнкү таблицкага түшүргүлө:

чоңдуктар	$\Delta \ell$	d	U	t_1^0	t_2^0	t_3^0	t_4^0	V	τ	χ	$\bar{\chi}$	$\frac{\Delta \chi}{\bar{\chi}} 100\%$
чен бирдиги												
1.												
2.												

9. Өлчөөлөрдүн жана эсептөөлөрдүн акыркы жыйынтыгын $\chi = \bar{\chi} \pm \Delta\bar{\chi} = \underline{\hspace{2cm}}$ көрүнүшүндө жазгыла.

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Кандай кубулуш жылуулук өткөрүмдүүлүк деп аталат жана ал МКТ боюнча кандайча түшүндүрүлөт?
2. Фурьенин законунун жана жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентинин физикалык мааниси.
3. Бул жумушта жездин жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин кантип аныктадыңар?
4. Металлдардын жылуулук өткөрүмдүүлүгүн классикалык көз караш боюнча толук түшүндүрүүгө болобу? Жообуңарды негиздегиле.
5. Эмне үчүн жылуулукту жакшы өткөргөн металл токту да жакшы өткөрөт?
6. Диэлектрик катуу заттар (фарфор, туздар, ж.б.) жылуулукту кантип өткөрүшөт?
7. Жылуулукту жакшы жана начар өткөрүүчү заттардын турмушта жана техникада колдонулушуна мисалдарды келтиргиле.

2.13. КАТУУ ЗАТТАРДЫН САЛЫШТЫРМА ЖЫЛУУЛУК СЫЙЫМДУУЛУГУН АНЫКТОО

Иштин максаты: катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугунун классикалык жана кванттык теорияларын окуп үйрөнүү; жылуулук тең салмактуулук принцибинин негизинде катуу заттардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоо жана Дюлонг-Птинин законун текшерүү.

Иштин жабдылышы: калориметр, электр ысыткычы, катуу заттар (жез, алюминий жана темир цилиндрлери), салыштырма жылуулук сыйымдуулугу белгилүү болгон суюктук, термометр, секундомер.

Иштин кыскача теориясы

Катуу заттардын жылуулукту сыйдыруу касиетин окуп үйрөнүүнүн теориялык жана практикалык мааниси зор. Анткени катуу

заттардын бул касиети алардын бөлүкчөлөрүнүн (молекулалардын, атомдордун же иондордун) термелүүлөрүнүн закон ченемдүүлүктөрү менен байланышкан жана турмушта колдонуусунда сөзсүз эске алынышы зарыл.

Заттардын жылуулукту сыйдыруу касиетин мүнөздөш үчүн жылуулук сыйымдуулук, молдук жылуулук сыйымдуулук жана салыштырма жылуулук сыйымдуулук түшүнүктөрү колдонулат.

Заттын жылуулук сыйымдуулугу – анын температурасын бир бирдикке жогорулатуу үчүн керектелүүчү жылуулуктун санына барабар болгон чоңдук.

Заттын молдук жылуулук сыйымдуулугу – 1моль заттын температурасын бир бирдикке жогорулатуу үчүн канча жылуулук саны керектелээрин көрсөтүүчү чоңдук.

Заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу - 1кг заттын температурасын бир бирдикке жогорулатуу үчүн керектелүүчү жылуулуктун санына барабар болгон чоңдук.

Жылуулук сыйымдуулукту C' , молдук жылуулук сыйымдуулукту C_{μ} , ал эми салыштырма жылуулук сыйымдуулукту c менен белгилейли. Бул чоңдуктардын бири-бири менен байланыштары төмөнкүдөй:

$$C' = \nu C_{\mu} = \frac{m}{\mu} C_{\mu} \quad (2.13.1)$$

$$C_{\mu} = \mu c, \quad (2.13.2)$$

$$C' = m c, \quad (2.13.3)$$

мында m - заттын массасы, μ - анын молдук массасы, $\nu = \frac{m}{\mu}$ - заттын молдорунун саны.

C' , C_{μ} жана c нын физикалык маанилерин түшүнүү үчүн жылуулук санынын маңызын билүү керек. Бул максатта заттын ички энергиясына жана аны өзгөртүүнүн жолдоруна токтолобуз. *Заттын ички энергиясы* аны түзгөн бөлүкчөлөрдүн (молекулалардын, атомдордун, иондордун) жылуулук кыймылынын кинетикалык жана өз ара аракеттенишүүлөрүнүн (тартылууларынын жана түртүшүүлөрүнүн) потенциалдык энергияларынын суммасына барабар.

Берилген заттын ички энергиясы анын температурасына пропорциялаш, температура жогорулаганда заттын бөлүкчөлөрүнүн ылдамдыктары артып, кинетикалык энергиялары чоңоет.

Заттын ички энергиясы анын көлөмүнө да көз каранды. Анткени, заттын көлөмүн өзгөрткөндө, анын бөлүкчөлөрүнүн арасындагы аралыктар, аны менен кошо бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенишүү

күчтөрү, демек, потенциалдык энергиялары да өзгөрөт. Ошондуктан заттын көлөмүн өзгөрткөндө, анын ички энергиясы өзгөрөт.

Мына ошентип, берилген массадагы ар кандай заттын ички энергиясы U анын температурасы T га жана көлөмү V га көз каранды, б.а., $U = U(T, V)$. Бул функциянын ачык көрүнүшүн аныктоо МКТ нын негизги маселелеринин бири болот.

Заттын ички энергиясынын температурага жана көлөмгө көз карандылыгынан аны өзгөртүүнүн мүмкүн болгон жолдорун көрсөтүүгө болот:

1. жылуулук алмашуу,
2. жумуш аткаруу,
3. жылуулук алмашуу жана жумуш аткаруу.

Жылуулук алмашуу – жумуш аткарбастан нерсенин (системанын) ички энергиясын өзгөртүү процесси. Бул үчүн нерсени температурасы айырмалуу болгон башка нерсеге тийгизүү керек. Температурасы жогору болгон нерсе өзүнүн ички энергиясынын бир бөлүгүн температурасы төмөн болгон нерсеге берип, муздайт. Бул процессте температурасы төмөн болгон нерсе ысыйт, себеби анын ички энергиясы артат. Тийишип турган нерселердин температуралары теңелгенде, жылуулук алмашуу процесси «токтойт».

Айталы, системага сырттан δQ элементардык жылуулук саны берилсин жана анын үстүнөн сырткы күчтөр $\delta A'$ элементардык жумушун аткарсин, анда энергиянын сакталуу закону боюнча ал системанын ички энергиясынын өзгөрүүсү dU ага берилген жылуулуктун саны менен анын үстүнөн аткарылган жумуштун суммасына барабар:

$$dU = \delta Q + \delta A' \quad (2.13.4)$$

Бул формуладан

$$\delta Q = dU - \delta A' . \quad (2.13.4)'$$

Ал эми системанын (газдын, буунун ж.б) жогорудагыдай эле өзгөрүүлөрдү жасоо үчүн сырткы күчтөргө каршы аткарган жумушу, сан жагынан ал жумушка барабар, бирок белгиси ага карама-каршы

$$\delta A = -\delta A' .$$

Анда

$$dQ = \delta U + \delta A \quad (2.13.4)''$$

көрүнүшүндө жазылат.

Демек, *системага сырттан берилген жылуулук саны, анын ички энергиясын өзгөртүүгө жана сырткы күчтөргө каршы жумуш аткаруусуна сарпталат*. Бул эреже энергиянын сакталуу законунун жылуулук процесстери үчүн колдонулушу болот жана **термодинамиканын биринчи закону** деп аталат.

Айталы, массасы m болгон нерсеге δQ жылуулук санын бергенде, температурасы dT га өзгөрсүн: $\delta Q \sim dT$ же $\delta Q = C'dT$, мында

$$C' = \frac{\delta Q}{dT} \quad (2.13.5)$$

ал нерсенин жылуулук сыйымдуулугу, ал эми салыштырма жылуулук сыйымдуулугу

$$c = \frac{C'}{m} = \frac{\delta Q}{mdT} \quad (2.13.6)$$

болот. Мындан

$$\delta Q = c m dT \quad (2.13.7)$$

туюнтмасына ээ болобуз. Бул формула массасы m болгон нерсенин температурасын dT га жогорулатуу үчүн зарыл болгон жылуулук санын аныктайт.

Элементардык термодинамикалык жумуш

$$\delta A = P dV \quad (2.13.8)$$

формуласы боюнча аныкталары белгилүү. Анда термодинамиканын биринчи закону

$$\delta Q = dU + P dV \quad (2.13.4)'''$$

көрүнүшүндө жазылат.

(2.13.4)''' - бабарбардыгын (2.13.5)- формулага коюп,

$$C' = \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} \quad (2.13.9)$$

ээ болобуз. Бул нерсенин (системанын) жылуулук сыйымдуулугунун жалпы формуласы болот. Эгерде нерсени ысытууда анын көлөмүнүн өзгөрүшү dV эске албай коюуга мүмкүн болгондой кичине болсо ($dV \approx 0$), анда (2.13.9)-формула

$$C' = \frac{dU}{dT} \quad (2.13.10)$$

көрүнүшүндө жазылат.

Чындыгында, катуу заттарды ысытканда, алардын көлөмдөрү, газдардан айырмаланып, дээрлик өзгөрбөйт деп эсептөөгө болот. Ошондуктан катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугун аныктоо үчүн

$$C' = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} \quad (2.13.10)'$$

формуласы колдонулат. Демек, катуу заттын жылуулук сыйымдуулугу сан жагынан анын ички энергиясынан температура боюнча алынган туундуга барабар. Ошондуктан заттардын жылуулук сыйымдуулугун аныктоо үчүн, эң биринчи кезекте, алардын ички энергиясын аныктоо зарыл.

Химиялык жөнөкөй (бир гана элементтен, мисалы, *Fe, Al, Ag, Cu* ж. б. куралган) катуу заттардын молдук жылуулук сыйымдуулугунун классикалык теориясын карап көрөлү.

Катуу заттардын бөлүкчөлөрү 3 термелүү эркин даража санына ээ. Энергиянын эркин даража сандары боюнча бирдей бөлүштүрүлүш принциби боюнча бөлүкчөлөрдүн 1 термелүү эркин даража санына орточо kT (кинетикалык жана потенциалдык) энергия туура келет. Анда катуу заттын бөлүкчөлөрүнүн (атомдорунун) орточо энергиясы

$$\bar{\varepsilon} = 3kT,$$

ал эми химиялык жөнөкөй 1 моль катуу заттын ички энергиясы

$$U_{\mu} = N_A 3kT = 3RT \quad (2.13.11)$$

болот, мында:

N_A - Авогадро турактуусу,

k - Больцман турактуусу,

$N_A k = R$ - универсалдуу газ турактуусу.

(2.13.11)-формуланы (2.13.10)'-формулага коюп, химиялык жөнөкөй катуу заттардын молдук жылуулук сыйымдуулугу аныкталат:

$$C_{\mu} = \frac{dU_{\mu}}{dT} = \frac{d(3RT)}{dT} = 3R = 3 \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}} \approx 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}} \approx 6 \frac{\text{кал}}{\text{моль К}}. \quad (2.13.12)$$

Мына ошентип, классикалык көз караш боюнча, бардык химиялык жөнөкөй кристаллдардын молдук жылуулук сыйымдуулуктары бирдей жана 6 кал/моль К ге барабар.

Бул эреже **Дюлонг-Птинин закону** деп аталат. Окумуштуулар Дюлонг жана Пти 1819-жылы тажрыйбада химиялык жөнөкөй катуу заттардын молдук жылуулук сыйымдуулуктары $6 \frac{\text{кал}}{\text{мольград}}$ га жакын

болушун аныкташкан.

Катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугунун классикалык теориясы төмөнкүдөй кемчиликтерге ээ:

1. Дюлонг-Птинин закону боюнча катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугу температурага көз каранды эмес. Тажрыйбада болсо жогорку температураларда гана Дюлонг-Птинин закону аткарылат; ал эми төмөнкү температураларда катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугу температуранын төмөндөшү менен азаят жана T абсолюттук нөлгө умтулганда, жылуулук сыйымдуулук да нөлгө умтулат.

2. Жылуулук сыйымдуулуктун классикалык теориясы металлдардын эркин электрондорунун алардын жылуулук сыйымдуулугуна үлүш кошпой калышын түшүндүрө албайт.

Катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугунун классикалык теориясы түшүндүрө албаган жогоруда белгиленген фактыларды

кванттык теория түшүндүрөт. Бул теорияны 1905-жылы А.Эйнштейн түзгөн. Ал жылуулук сыйымдуулуктун кванттык теориясын түзүүдө төмөнкү жаңы жобого таянган: катуу заттардын термелишип жаткан бөлүкчөлөрү, классикалык бөлүкчөлөрдөн айырмаланып, *энергиянын кванты* деп аталган $h\nu$ энергиясына эселүү болгон гана, энергияларга ээ болушат.

Бул жобого ылайык катуу заттын бөлүкчөлөрүнүн термелүү кыймылынын энергиясы

$$\varepsilon_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot h\nu,$$

мында $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ маанилерди кабыл алуучу сан, h - Планк турактуусу, ν - бөлүкчөнүн термелүү жыштыгы.

Энергиянын $n = 0$ болгондогу $\varepsilon_0 = \frac{1}{2} h\nu$ мааниси *нөлдүк энергия* же нөл температурада ээ болуучу энергиясы деп аталат. Бул энергия бөлүкчөнүн жылуулук кыймылы менен байланыштуу эмес жана катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугуна таасирин тийгизбейт. Ошондуктан жылуулук сыйымдуулукту эсептөөгө ыңгайлуу болсун үчүн бөлүкчөнүн термелүү кыймылынын энергиясын

$$\varepsilon_1 = nh\nu \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

деп алууга болот.

Мына ошентип, бөлүкчөнүн ар бир термелүү кыймылдарына $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu$, энергиялар туура келет. Энергиянын бул маанилеринин орточосу $\bar{\varepsilon}_1$ статистикалык усулду колдонуу менен аныкталат жана

$$\bar{\varepsilon}_1 = \frac{h\nu}{e^{kT} - 1} \quad \text{ге барабар болот.}$$

Эйнштейн бул формуланы келтирип чыгарууда, жөнөкөй болсун үчүн, катуу заттын бөлүкчөлөрүн *бирдей жыштык* менен термелишет деп эсептеген.

Анда Эйнштейн түзгөн кванттык теория боюнча катуу заттын бөлүкчөлөрүнүн орточо энергиясы үч багыт боюнча термелүүлөрдү эске алганда,

$$\bar{\varepsilon} = 3\bar{\varepsilon}_1 = 3 \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}, \quad (2.13.13)$$

ал эми 1 моль жөнөкөй катуу заттын ички энергиясы

$$U_\mu = N_A \cdot \bar{\varepsilon}_1 = 3N_A \frac{h\nu}{e^{kT} - 1} \quad (2.13.14)$$

болот. (2.13.10)-жана (2.13.14)-формулалардан

$$C_{\mu} = \frac{dU}{dT} = 3N_A h\nu \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \right)_T = 3N_A h\nu \frac{\left(\frac{h\nu}{kT} \right) \cdot e^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^2}$$

ээ болобуз. Бул барабардыкты төмөнкү көрүнүштө жазууга болот:

$$C_{\mu} = 3R \frac{\left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 e^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^2} . \quad (2.13.15)$$

Мына ошентип, Эйнштейн түзгөн кванттык теорияда химиялык жөнөкөй катуу заттардын молдук жылуулук сыйымдуулугу (2.13.15)-формула аркылуу аныкталат жана ал температурага көз каранды. Жекече учурларды карап чыгалы: $h\nu = kT_0$ шартынан аныкталуучу $T_0 = \frac{h\nu}{k}$ температурасы түрдүү заттар үчүн түрдүүчө, бирок турактуу мааниге ээ жана ал заттын мүнөздүк температурасы деп аталат.

а) Айталы, катуу заттын температурасы анын мүнөздүк температурасынан бир кыйла жогору болсун. Анда $kT > h\nu$, $\frac{h\nu}{kT} < 1$ жана

$e^{\frac{h\nu}{kT}} \approx 1 + \frac{h\nu}{kT}$ деп алууга болот. Ошондуктан (2.13.15)-формулану

$$C_{\mu} = 3R \frac{\left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \cdot e^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left(1 + \frac{h\nu}{kT} - 1 \right)^2} \quad (2.13.15)'$$

көрүнүшүндө жаза алабыз.

Бул учурда $e^{\frac{h\nu}{kT}} \approx 1$ экендигин эске алсак, анда (2.13.15)' дан $C_{\mu} = 3R$ ге, б.а. **Дюлонг-Птинин** законуна ээ болобуз.

Мына ошентип, жогорку температураларда кванттык жана классикалык теориялардын натыйжалары өз ара дал келет.

б) Айталы, катуу заттын температурасы анын мүнөздүк температурасынан бир топ төмөн болсун. Анда

$$kT < h\nu, \quad \frac{h\nu}{kT} > 1 \text{ жана } e^{\frac{h\nu}{kT}} \gg 1$$

болот. Буларды эске алып, (2.13.15)-формулану

$$C_{\mu} \approx 3R \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \cdot e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (2.13.15)''$$

көрүнүшүндө жазууга болот.

Мына ошентип, (2.13.15)''-формуладан төмөнкү температураларда C_{μ} температурага көз каранды болушу көрүнүп турат. Демек, мүнөздүк температура ар бир зат үчүн анын жогорку жана төмөнкү температуралык интервалдарын, б.а. классикалык жана кванттык теориялардын колдонуу интервалдарын бөлүп турат деп айтууга болот.

(2.13.15)''-формуласынан $T \rightarrow 0K$ умтулганда, $C_{\mu} \rightarrow 0K$ болору төмөндөгүдөй далилденет: эгерде $\frac{h\nu}{k} = a$ деп алсак, анда (2.13.15)''

$$C_{\mu} = 3R \left(\frac{a}{T} \right)^2 \cdot e^{-\frac{a}{T}} = 3Ra^2 \frac{1}{T^2} \cdot e^{-\frac{a}{T}} \quad (2.13.15)'''$$

көрүнүшүндө жазылат. Эми $\frac{1}{T} = y$ деп белгилеп алалы; Анда

(2.13.15)'''-формула $C_{\mu} = 3Ra^2 \frac{y^2}{e^{ay}}$ көрүнүшүнө келет.

$T \rightarrow 0$ го умтулганда $y \rightarrow \infty$ ге умтулат, анда акыркы барабардыктан $C_{\mu} = \frac{\infty}{\infty}$ болот. Бул аныксыздык Лопиталдын эрежесин колдонуу менен ачылат:

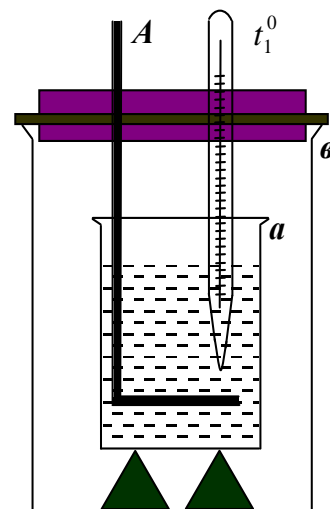
$$\lim_{y \rightarrow \infty} C_{\mu} = 3Ra^2 \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{y^2}{e^{ay}} = 3Ra^2 \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{2y}{ae^{ay}} = 3Ra^2 \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{2}{a^2 e^{ay}} = 3R \frac{2}{\infty} = 3R \cdot 0 = 0.$$

Мына ошентип, Эйнштейн түзгөн кванттык теория боюнча катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугу анын температурасына көз каранды жана ал теория $T \rightarrow 0K$ умтулганда $C_{\mu} \rightarrow 0$ умтулушун белгилүү даражада түшүндүрө алат.

Өтө төмөнкү, абсолюттук нөлгө жакын, температураларда катуу заттардын торчолук жылуулук сыйымдуулугу Дебайдын эсептөөсү боюнча $C_{тор} = \alpha T^3$, мында α - Дебайдын турактуусу. Бул көз карандылык тажрыйбага кыйла жакын жана муну келтирип чыгаруу үчүн Дебай *торчонун түйүнүндөгү бөлүкчөлөр нөлдөн баштап кандайдыр бир максималдык жыштыктарга чейинки интервалдардагы жыштыктарда термелише алышат* деп эсептеген. Максималдык жыштыктын мааниси катуу заттын жекече өзгөчөлүгү менен аныкталат.

Эксперименталдык курулма жана жумушту аткаруунун усулу

Бул жумушта катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугун аныктоо жылуулук тең салмактуулук принцибин колдонууга негизделген. Бул принциптин мааниси төмөндөгүдөй: изоляцияланган система өз алдынча белгилүү убакытта бардык бөлүктөрүнүн температуралары бирдей болгон тең салмактуу абалына келет. Температуралар теңелип жатканда, системадагы нерселердин бири ички энергиясынын бир бөлүгүн берип муздаса, экинчиси ал энергияны алып ысыйт. Энергиянын сакталуу закону боюнча изоляцияланган системанын жалпы ички энергиясы өзгөрбөйт.



32-сүрөт

Бул жумушта ичине суу куюлган жана ал сууга ысытылган изилденүүчү катуу зат түшүрүлгөн калориметр изоляцияланган система катары алынат. Калориметр бири экинчисине түшүрүлгөн эки идиштен турат (32-сүрөт, *a* жана *b*).

Идиштердин арасында белгилүү калыңдыктагы аба катмары бар. Аба жылуулукту начар өткөргөндүктөн, калориметрдин ички идишинен сырткысына жана айлана-чөйрөгө жылуулук аз берилет. Бууланууну жана конвекциялык агымды азайтуу үчүн идиштер жылуулукту начар өткөрүүчү заттан жасалган капкак менен жабылат.

Ысытылган катуу зат сууга жана калориметрдин ички идишине жылуулук берип муздайт; суу жана ички идиш ал жылуулукту алышкандыктан ысышат. Натыйжада катуу заттын, суунун жана калориметрдин ички идишинин температуралары теңелет.

Айталы, калориметрдин ички идишинин массасы m_0 , салыштырма жылуулук сыйымдуулугу C_0 , ага куюлган суунун массасы m_1 , салыштырма жылуулук сыйымдуулугу c_1 , температурасы t_1^0 , ал сууга түшүрүлө турган катуу заттын массасы m_2 , салыштырма жылуулук сыйымдуулугу C_x , температурасы t_2^0 болсун. Катуу зат калориметрге түшүрүлгөндөн кийин, ал зат, суу жана калориметрдин ички идиши жылуулук тең салмактуулук абалга келгендеги температура θ^0 болсун. Бул заттардын системасы үчүн энергиянын сакталуу закону

$$c_x m_2 (t_2^0 - \theta^0) = c_1 m_1 (\theta^0 - t_1^0) + c_0 m_0 (\theta^0 - t_1^0) \quad (2.13.16)$$

көрүнүшүндө жазылат, б.а., катуу зат берген жылуулук саны сууну жана калориметрдин ички идишин ысытууга сарпталат.

Мындан

$$c_x = \frac{(c_1 m_1 + c_0 m_0)(\theta^0 - t_1^0)}{m_2(t_2^0 - \theta^0)}. \quad (2.13.17)$$

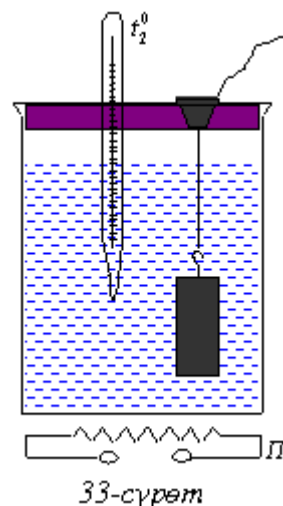
(2.13.16)-жылуулуктун балансынын теңдемесин пайдаланып, кошумча тажрыйбаларды жасабай туруп эле, суунун салыштырма жылуулугун аныктоого болот. Ал сууга түшүрүлүүчү катуу заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун белгилүү деп эсептесек (анын маанисин тиешелүү таблицадан алабыз), анда суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу

$$C_1 = \frac{C_x m_2 (\theta - \theta^0) - C_0 m_0 (\theta - t_1^0)}{m_1 (\theta - t_1^0)}. \quad (2.13.18)$$

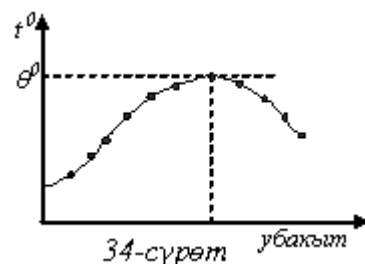
Башка суюктуктардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарын ушундай эле жол менен аныктоо үчүн суунун ордуна калориметрге изилденүүчү суюктукту куюп тажрыйба жүргүзүү жетиштүү.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Эксперименталдык курулма менен таанышкыла.
2. Калориметрдин ички идишинин массасы m_0 ду өлчөгүлө. Бул идиштин кандай заттан жасалгандыгын (тегин) билгиле.
3. Бул идишке түшүрүлүүчү катуу зат көмүлгөндөй суу куйгула. Идишти ичиндеги суусу менен бирге таразага тартып, $m_1 = m - m_0$ туюнтмасын колдонуп, суунун массасы m_1 ди аныктагыла.
4. Тиркемедеги Т.25-таблицадан калориметрдин ички идишинин материалынын жана суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарын (c_0 жана c_1) жазып алгыла.
5. Калориметрди жыйнап, андагы суунун температурасы t_1^0 ди өлчөгүлө.
6. Башка идишке суу куюп, аны электр ысыткычта кайнаткыла жана кайнап жаткан суунун температурасы t_2^0 ни өлчөгүлө.
7. Изилденип жаткан катуу заттын (темирдин, алюминийдин, жездин) массасы m_2 ни өлчөгүлө да аны ичке жиптен жасалган асмага илип, кайнап жаткан сууга түшүргүлө (33-сүрөт). Катуу заттын бардык бөлүктөрүнүн температурасы кайнак суунун температурасы t_2^0 ге теңелгенге чейин 3-4 минут күткүлө.



8. Изилденүүчү затты кайнак суудан тез чыгарып, калориметрдеги сууга салгыла. Калориметрди капкак менен жаап, андагы тешиктен термометр түшүргүлө да калориметрдеги суунун температурасынын өзгөрүшүн көзөмөлдөгүлө, б.а. ар бир 5-10с кийинки температураларынын маанилерин жазып тургула. Суу ысып барып кайра муздай баштаганда байкоону токтоткула. Сууну аралаштыргыч менен аралаштырып тургула.



9. Суунун температурасынын убакыттан көз карандылыгынын графигин чийгиле да аны пайдаланып тең салмактуулук температурасын аныктагыла.

10. Тажрыйбаны 3 жолу кайталагыла. Алынган натыйжаларды (2.13.17)-формулага коюп, изилденип жаткан катуу заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктагыла.

11. Жогорудагы өлчөөлөрдү сунуш кылынган башка катуу заттар менен кайталагыла. Алынган натыйжаларды төмөнкү таблицаларга түшүргүлө:

1-таблица: Темир

чондуктар	m_0	c_0	m_1	c_1	t_1^0	m_2	t_2^0	θ^0	c_x	\bar{c}_x	$\frac{\Delta \bar{C}_x}{\bar{C}_x} 100 \%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

2-таблица: Алюминий

чондуктар	m_0	c_0	m_1	c_1	t_1^0	m_2	t_2^0	θ^0	c_x	\bar{C}_x	$\frac{\Delta \bar{C}_x}{\bar{C}_x} 100 \%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

3-таблица: Жез

чоңдуктар	m_0	c_0	m_1	c_1	t_1^0	m_2	t_2^0	θ^0	c_x	\bar{C}_x	$\frac{\Delta \bar{C}_x}{\bar{C}_x} 100\%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

12. Дюлонг-Птинин законун текшергиле. Бул үчүн темирдин, алюминийдин жана жездин (Fe, Al жана Cu) тажрыйбада аныкталган салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарынын маанилерин колдонуп, $C_\mu = c\mu$ формуласы боюнча молдук жылуулук сыйымдуулуктарын эсептегиле. Алынган натыйжаларды төмөнкү таблицкага түшүргүлө:

4-таблица

Зат	μ	c	C_μ
Чен бирдиги			
Темир			
Алюминий			
Жез			

13. Жогорудагы маалыматтарды жана катуу заттардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктарынын таблицалык маанилерин пайдаланып, (2.13.18)-формуласынан суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктагыла.

5-таблица

чоңдуктар	m_0	c_0	m_1	c_1	t_1^0	m_2	t_2^0	θ^0	c_x	\bar{c}_x	$\frac{\Delta \bar{c}_x}{\bar{c}_x} 100\%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

Тыянак: Изилденген катуу заттардын ичинен _____ үчүн Дюлонг-Птинин закону эң жакшы аткарылат. Ал эми

_____ үчүн бул закон жакындаштырып аткарылат. Анын
себеби төмөнкүдөй болушу мүмкүн:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. “Жылуулук саны” жана “заттын ички энергиясы” түшүнүктөрүнүн физикалык маанилерин талдап, алардын маңызындагы жалпылыктарды жана айырмачылыктарды көрсөткүлө. Ички энергияны өзгөртүүнүн кандай жолдорун билесиңер?
2. Заттын жылуулук сыйымдуулугу анын тегинен жана өлчөмдөрүнөн көз каранды болобу? Жообуңарды мисалдар менен бышыктагыла. Бул көз карандылыкты кандайча эсепке алабыз?
3. Жылуулук сыйымдуулуктун, молдук жана салыштырма жылуулук сыйымдуулуктардын өз ара байланыштарын, чен бирдиктерин жазгыла.
4. Катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугунун классикалык теориясынын негизги жыйынтыгы кандайча айтылат?
5. Катуу заттардын жылуулук сыйымдуулугунун кванттык теориясы жөнүндө түшүнүк бергиле.
6. Кандай максатта катуу заттарды колдонордо алардын жылуулук сыйымдуулугунун маанисин эсепке алуу зарыл болот?
7. Ушул эле тажрыйбаны пайдаланып кантип суюктуктардын салыштырма жылуулук сыйымдуулугун аныктоого болорун түшүндүргүлө.

2.14. МЕТАЛЛДАРДЫН ЭРҮҮ ТЕМПЕРАТУРАСЫН ЖАНА САЛЫШТЫРМА ЭРҮҮ ЖЫЛУУЛУГУН АНЫКТОО

Иштин максаты: заттардагы фазалык айлануу кубулушун окуп үйрөнүү, металлдын эрүү температурасын жана салыштырма эрүү жылуулугун аныктоо.

Иштин жабдылышы: электр ысыткычы, идиш (тигель), изилденүүчү металл, термометр же даражаланган термопара, секундомер.

Иштин кыскача теориясы

Молекулалык–кинетикалык көз караш боюнча ар кандай зат майда бөлүкчөлөрдөн турат, ал бөлүкчөлөр тынымсыз кыймылдап жана бири-

бири менен өз ара аракеттенишип турушат. Мындан аркы талкууну жеңилдетүү үчүн бизди кызыктырган заттын бөлүкчөлөрүнө сырткы талаанын күчтөрү аракет этпейт деп эсептейли. Анда заттын бөлүкчөлөрү өздөрүнүн кыймылы менен байланышкан кинетикалык (W_K) энергияга жана өз ара аракеттенишүүнүн потенциалдык энергияларына (W_n) ээ болушат. Басымдын, көлөмдүн жана температуранын берилген маанилеринде бөлүкчөлөрдүн бул энергияларынын өз ара катышына жараша зат газ, суюк же катуу абалдарынын биринде болот.

Бөлүкчөлөрдүн жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы заттын температурасына түз пропорциялаш: $W_K = kT$. Температуранын жогорулашы менен бөлүкчөлөрдүн жылуулук кыймылынын интенсивдүүлүгү күчөйт, алардын бири-биринен алыстап кетишинин ыктымалдыгы жогорулайт. Ал эми аракеттенишүүнүн потенциалдык энергиясынын (W_n) чоңдугу бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенишүүлөрүнүн табиятына, б.а. заттын тегине жараша болот.

Бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенишүү энергияларынын алардын ортосундагы аралыктан көз карандылыгын сапаттык түрдө талдап көрөлү. 35-сүрөттө нейтралдуу молекуланын эки атомунун өз ара түртүшүү ($W_1 > 0$), тартышуу ($W_2 < 0$) потенциалдык энергияларынын алардын ортосундагы аралыктан көз карандылык ийрилери берилген. Алардын суммасы бул эки атомдун өз ара аракеттенишүүлөрүнүн потенциалдык энергиясын аныктайт:

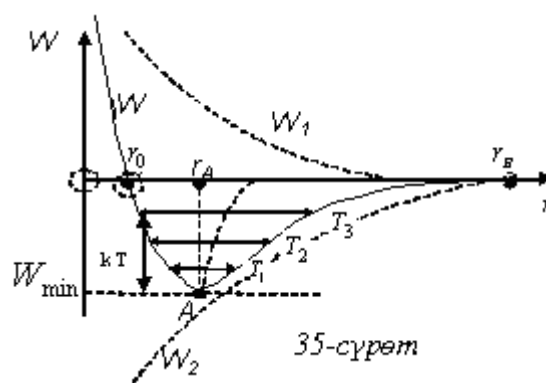
$$W_n = W_1 + W_2.$$

Эсептөө системасы биринчи атомдун борбору менен байланышкан, экинчиси ага салыштырмалуу кыймылдай алсын дейли. $r = r_0$ болжол менен атомдун өлчөмүнө барабар аралык. Бул аралыкта шар түрүндөгү эки атом өз ара жакындап, бири-бирине тийишет деп элестетүүгө болот. r_0 дун мааниси бөлүкчөлөрдүн өз ара түртүшүүлөрүнүн жана тартышууларынын потенциалдык энергияларынын бири- бирине барабардык шартынан аныкталат:

$$W_1 = |W_2| \quad \text{же} \quad W = W_1 + W_2 = 0.$$

$r=r_A$ аралыгында эки атомдун өз ара аракеттенишүү күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү нөлгө, суммардык потенциалдык энергиясы минималдык мааниге ээ болот:

$W=W_{min}$. Бул аралык атомдордун өз ара тең салмактуулук абалына туура келет, ал эми бул абалдын энергиясы W_{min} алардын байланыш энергиясы деп аталат. Жылуулук энергиясынын эсебинен атомдор бири-бирине салыштырмалуу термелип

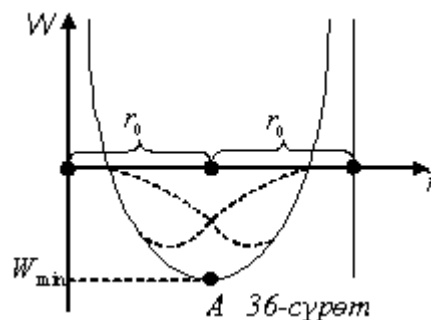


турушат. 35-сүрөттө түрдүү температураларда экинчи атомдун биринчи атомго карата абалынын өзгөрүшү жана бул кыймыл менен байланышкан алардын энергияларынын өзгөрүшү горизонталдык жебелер аркылуу көрсөтүлгөн. Заттын температурасынын жогорулашы менен термелүүнүн амплитудасы чоңоет. Жылуулук кыймылынын энергиясы атомдордун байланыш энергиясына жетип ашканда, ал атомдор бири- биринен ажырайт, б.а . молекула бузулат.

35-сүрөттөн нейтралдуу бөлүкчөлөр бири-бири менен өтө жакындашканда гана сезилээрлик даражада аракеттенишерин, $r_A \leq r \leq r_B$ аралыгында аракеттенишүү тартылуу мүнөзүндө болорун байкоого болот. $r \geq r_B$ шартын канааттандырган сейректелген газдарда бөлүкчөлөр өз ара дээрлик тартылышпайт. Ошондуктан, аларды *идеалдуу газ* катары эсептей берүүгө болот.

Эми бир түз сызыкка жаткан үч бөлүкчөнү (атомду) карайлы.

Бизди ортодогу бөлүкчөнүн «кыймылсыз» четки бөлүкчөлөргө салыштырмалуу абалы кызыктырсин. Ал бөлүкчөлөрдүн потенциалдык энергиясынын ийриси 36-сүрөттөгүдөй көрүнүштө болот.



Бөлүкчөнүн эки кошуналарынан бирдей алыстаган «ортоңку» абалына потенциалдык энергиянын минималдык мааниси туура келет жана бул абал, бөлүкчөнүн туруктуу тең салмактуу абалы болот. Бул абалда ортоңку бөлүкчөгө аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар. Бөлүкчөлөрдүн бул абалдан кошуналарынын бирин көздөй четтеши анын потенциалдык энергиясынын жогорулашына, б.а. тең салмактуу эмес, демек туруксуз, абалга өтүшүнө алып келет. Тең салмактуу абалдан оңго же солго жылган учурда ага каршы кошуна бөлүкчөнүн түртүү күчү тез чоңоюп,

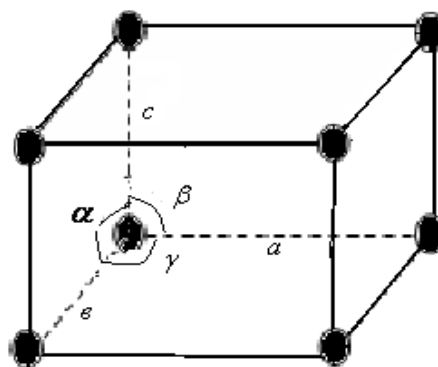
бөлүкчөнү тең салмактуу абалын көздөй «кайтартат». Демек, мындай бөлүкчө тең салмактуу абалынын чекебелинде гана жылуулук термелүүлөрүн жасай алышы мүмкүн. Температуранын жогорулашы менен бөлүкчөнүн термелүүлөрүнүн амплитудасы чоңоет, акырында, температуранын кайсы бир маанисинде термелүүчү бөлүкчөнүн кинетикалык энергиясынын чоңдугу анын тең салмактуу абалын биротоло таштап кетүүсүнө жетиштүү даражага жетет да, система бузулат.

Талкууну ушул багытта өркүндөтүп, үч өлчөмдүү катуу заттарды ысыткан кезде структурасы бузулуп, суюктукка айлануусун, б.а. эрүүсүн түшүндүрүүгө болот.

Жыйынтыктап айтканда, заттардын тигил же бул агрегаттык абалда болушу алардын бөлүкчөлөрүнүн өз ара тартышууларынын потенциалдык энергиялары менен берилген шарттагы жылуулук кыймылынын кинетикалык энергияларынын өз ара катышына жараша аныкталат. Мисалы, берилген турактуу температурада ($T=const$, $W_k=kT=const$) бөлүкчөнүн байланыш энергиясы $W_{II} \gg kT$ болгон заттар катуу абалда, $W_{II} \approx kT$ болгон заттар суюк, ал эми $W_{II} < kT$ болгон заттар - газ абалында болушат.

Тескерисинче, конкретүү бир затты ($W_{II}=const$) алсак, анда төмөнкү ($kT_1 \ll W_{II}$) температураларда ал катуу, $kT_2 \approx W_{II}$ шартын канаатандырган температураларда суюк жана, жогорку ($kT_3 \gg W_{II}$) температураларда ал газ абалында болорун көрөбүз. Демек, затты ысытуу же муздатуу аны бир агрегаттык абалдан экинчисине өткөрүүнүн мүмкүн болгон жолдорунун бири катары кызмат кыла алат. Ал эми бул фазалык өтүүлөр ишке ашкан температуранын мааниси (демек, жогору, орто, төмөн температура түшүнүгү) ар бир зат үчүн өзүнчө, алардын бөлүкчөлөрүнүн байланыш энергиясы аркылуу аныкталат.

Катуу заттар кристаллдык жана аморфтук болуп экиге бөлүнүшөт. Физикада катуу заттар деп кристаллдык түзүлүштөгү нерселерди гана түшүнөбүз. Аморфтук заттар – булар тоңгон суюктуктар жана физикалык касиети боюнча алар кристаллдарга караганда суюктуктарга жакыныраак (мисалы, айнек, каучук, смола, пластмасса ж.б.). Аморфтук заттардын бөлүкчөлөрү мейкиндикте иретсиз жайгашкандыктан алар бардык багыттар боюнча бирдей касиеттерге (механикалык, жылуулук, электрдик, ж.б.) ээ, б.а. изотроптуу болушат.



Жаратылышта кеңири таралган кристаллдык түзүлүштөгү заттар (металлдар, туздар, кварц, слюда, алмаз ж.б.) өзгөчө кызыкчылыкты туудурат. Кристаллдардын негизги белгилери болуп алардын физикалык касиеттеринин *анизотропиялуулугу*, б.а. кристаллографиялык багыттардан көз карандылыгы эсептелет. Кристаллдар томпок көп грандуулуктар түрүндөгү табигый формага ээ болушат. Бул алардын бөлүкчөлөрү (молекулалары, атомдору же иондору) мейкиндикте кристаллдык торчону түзүп, иреттүү жайланышкандыктарынын натыйжасы. Мисалы, $NaCl$, KBr , $AgCl$ сыяктуу иондук кристаллдардын торчосу куб түрүндө болот. Жалпы алганда, атомдордун ички түзүлүшүнө жараша алар бири-бири менен аракеттенишүүлөрүнүн потенциалдык энергиясы минималдык мааниге ээ боло тургандай, түрдүү формадагы кристаллдык торчолорду түзө алышат. Анткени мындай структура туруктуу болот.

37-сүрөттө монокристалдын ички түзүлүшүнүн модели – жөнөкөй кристаллдык торчонун элементардык уячасы (ячейкасы) көрсөтүлгөн. Мында \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} - кристаллдык торчонун бирдик векторлору (тиешелүү 3 багыт боюнча коңшулаш түйүндөрдүн арасындагы аралыктар), α, β, γ - ал векторлордун арасындагы бурчтар. Бул 6 чоңдук *кристаллдык торчонун параметрлери же турактуулары* деп аталышат. Бул чоңдуктардын мүмкүн болгон маанилеринин көптүгү кристаллдык торчонун уячасынын түрлөрүнүн көптүгүн аныктайт. Кубдук торчодон башка учурларда \vec{a} , \vec{b} , жана \vec{c} векторлору түрдүүчө маанилерге ээ боло алышкандыктан, бөлүкчөлөрдүн түрдүү багыттар боюнча аракеттенүү күчтөрү да түрдүүчө болушат. Мындан монокристаллдар анизотроптук касиетке ээ болушарын, б.а. алардын физикалык касиеттеринин түрдүү багыттар боюнча түрдүүчө болорун түшүнүүгө болот.

Жаратылышта ири монокристаллдар (кварц, исланд шпаты, слюда, алмаз) сейрек кездешет. Көбүнчө катуу заттар молекулалык күчтөр аркылуу кармалып турган көптөгөн майда кристаллчалардан турат. Мындай кристаллдар *поликристаллдар* деп аталышат. Поликристаллдарда аны түзгөн монокристаллдардын физикалык касиеттеринин анизотропиялуулугу байкалбайт, анткени майда монокристаллдар өтө көп жана толук баш аламан жайгашышкан. Ошондуктан поликристаллдар изотроптук касиетке ээ болушат.

Кристаллдын бөлүкчөлөрү торчонун түйүнүнө (бөлүкчөнүн тең салмактуулук абалына) салыштырмалуу термелип турушат. 36-сүрөт боюнча талкуулоолорду торчонун түрдүү багыттары боюнча улантып жүргүзсөк жана түйүндөгү бөлүкчөгө кристаллдын башка бардык бөлүкчөлөрү чогуу аракет этишерин эске алсак, анда катуу заттын ар

бир бөлүкчөсү өтө терең потенциалдык чуңкурда термелүү кыймылында болорун түшүнүүгө болот. Бул абалдар жалпы кристаллдын потенциалдык энергиясынын минималдык болушун камсыздайт. Температуранын жогорулашы менен бөлүкчөлөрдүн термелүү кыймылынын интенсивдүүлүгү артат, атап айтканда, термелүү амплитудасы чоңоет. Аны менен кошо бөлүкчөлөрдүн түртүшүү күчтөрү да өсөт, бул өз кезегинде, кристаллдын кеңейишине алып келет.

Температуранын кайсы бир маанисинде термелүүчү бөлүкчөлөрдүн энергиясы алардын байланыш энергиясына теңелип, бөлүкчө өзүнүн тең салмактуу абалын таштап чыгып (потенциалдык чуңкурдан чыгып) кете баштайт. Ушул температурада кристаллдык структура бузулуп, ал суюктукка айлана баштайт (б.а. эрий баштайт). Кристалл толук эрип бүткөнгө чейин анын температурасы өзгөрбөйт, анткени бул учурда кристаллга берилип жаткан жылуулук бүт бойдон торчону бузууга гана, б.а. кристаллдын жалпы потенциалдык энергиясын жогорулатууга гана сарпталат.

Кристаллды турактуу температурада толук эритүү үчүн зарыл болгон энергия *эрүүнүн көмүскө жылуулугу*, ал эми катуу абалдан суюк абалга өтүү температурасы – *эрүү температурасы* деп аталат.

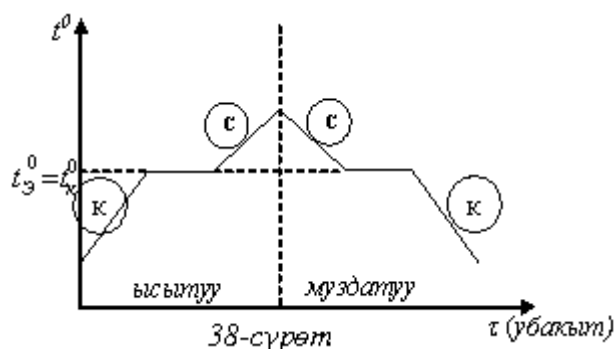
Эрүүнүн көмүскө жылуулугу заттын өлчөмүнөн жана тегинен (анын бөлүкчөлөрүнүн байланыш энергиясынан) көз каранды. Ошондуктан практикада тиешелүү заттардын *салыштырма эрүү жылуулугу* (λ) колдонулат:

$$Q = \lambda m \quad \text{же} \quad \lambda = \frac{Q}{m} . \quad (2.14.1)$$

Демек, эрүү температурасында заттын суюк абалынын ички энергиясы анын ошол эле температурадагы кристаллдык абалынын ички энергиясынан эрүүнүн жылуулугуна чоң болот.

Кристалл толук эрип бүткөндөн кийин суюктуктун температурасы көтөрүлө баштайт (эгерде затка жылуулук берүүнү токтотпосо). Кристаллдын эрүү температурасы басымга көз каранды, бирок аны сезилээрлик өзгөртүү үчүн басымды өтө чоң маанилерге өзгөртүү талап кылынат.

Эрүүгө тескери болгон катуулануу (*кристаллдашуу*), б.а. суюктуктун кристаллга айлануу процесси да эрүү температурасына барабар турактуу температурада жүрөт. Бул процессте заттан эрүүнүн көмүскө жылуулугунчалык



жылуулук айлана-чөйрөгө бөлүнүп чыгат (заттын потенциалдык энергиясы азаят).

38-сүрөттө кристаллдын эрүү жана катуулануу процесстери графикалык түрдө көрсөтүлгөн. Фазалык айлануулар турактуу температурада жүрөт, бир фазалуу (катуу же суюк) абалдардын гана температуралары өзгөрөт.

Ишти аткаруунун усулу

Бул иште металлдын эрүү температурасы жана салыштырма эрүү жылуулугу аныкталат. Эрүү температурасынын мааниси ысытылып же муздатылып жаткан заттын температурасынын убакыттан көз карандылыгынан (38-сүрөт, $t_3=t_k$) жана процеске визуалдык байкоо жүргүзүү менен оңой эле аныкталат.

Ал эми металлдын эрүү жылуулугун (2.14.1)-формуланын жардамында аныктоо үчүн аны эрүү температурасында толук суюктукка айландыруу үчүн сарпталуучу жылуулук санын (Q_3) билүү зарыл болот. Аны тажрыйбада түздөн-түз өлчөөгө мүмкүн эмес. Ошондуктан төмөнкү шарттарды эске алып маселени өзгөртүп түзөбүз:

1. Берилген массадагы затты турактуу температурада эритүү үчүн канча жылуулук сарп кылынса, ошол эле температурада ал кристаллдашканда ошончолук жылуулук саны бөлүнүп чыгат:

$$Q_3 = Q_k = Q .$$

2. Кристаллдашуу учурунда заттын температурасы өзгөрбөгөндүктөн, ар бир секундада заттан бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны ошол эле убакыт ичинде айлана-чөйрөгө тараган жылуулук санына барабар (б.а. кристаллдашып жаткан заттан жылуулук кандай тездикте бөлүнүп чыгып жатса ошол эле тездикте ал айлана-чөйрөгө берилет):

$$\left| \frac{dQ_k}{d\tau} \right| = \frac{dQ_{AЧ}}{d\tau} = \frac{\delta Q}{d\tau} .$$

Эгерде кристаллдашуу узактыгы τ болсо, анда кристаллдашуу убагында бөлүнүп чыккан жылуулук саны

$$Q_k = \frac{\delta Q_k}{d\tau} \tau ,$$

анда

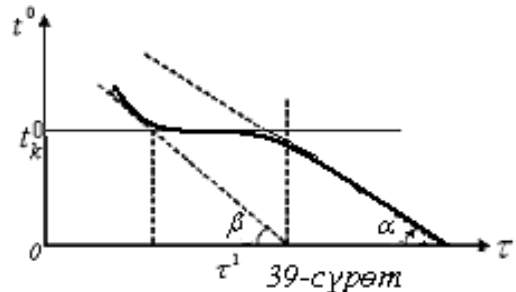
$$\lambda = \frac{Q}{m} = \frac{1}{m} \frac{\delta Q_k}{d\tau} \tau . \tag{2.14.2}$$

Мына ошентип, заттын эрүүсүнүн салыштырма жылуулугун аныктоо маселеси анын кристаллдашуусу учурунда жылуулуктун

бөлүнүп чыгуу тездигин жана кристаллдашуу убактысын аныктоо маселесине келтирилет.

Кристаллдашуу узактыгы τ графиктен зат толук кристаллдашып бүткөн τ_2 жана кристаллдаша баштаган (τ_1) убактыларынын айырмасы катары аныкталат: $\tau = \tau_2 - \tau_1$.

Кристаллдашуу учурунда жылуулуктун айлана-чөйрөгө берилүү тездигин түздөн-түз аныктоо кыйын, ошондуктан аны кыйыр жол менен табабыз. Аны жакындаштырып эрүү (катуулануу) температурасынын чекебелинде суюк эритме жана кристалл муздап жаткандагы жылуулуктун берилиш тездиктеринин орточосу катары алууга болот:



$$\frac{\delta Q}{d\tau} = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta Q_c}{d\tau} + \frac{\delta Q_k}{d\tau} \right). \quad (2.14.3)$$

Суюк эритме муздап жаткандагы жылуулуктун берилиш тездиги

$$\frac{\delta Q_c}{d\tau} = (Mc + mc_c) \frac{dt_c}{d\tau} \quad (2.14.4)$$

жана кристалл үчүн

$$\frac{\delta Q_k}{d\tau} = (Mc + mc_k) \frac{dt_k}{d\tau}, \quad (2.14.5)$$

мында M жана c – идиштин (тигелдин) массасы жана салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, m - металлдын массасы, c_c жана c_k - анын суюк жана катуу абалынын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктары.

$\frac{dt_c}{d\tau}$ жана $\frac{dt_k}{d\tau}$ - металлдын суюк жана катуу абалдарынын муздоо тездиги (39-сүрөт).

(2.14.4)-жана (2.14.5)-туюнтмаларды (2.14.3)-формулага коюп

$$\frac{\delta Q}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[(Mc + mc_c) \frac{dt_c}{d\tau} + (Mc + mc_k) \frac{dt_k}{d\tau} \right] \quad (2.14.6)$$

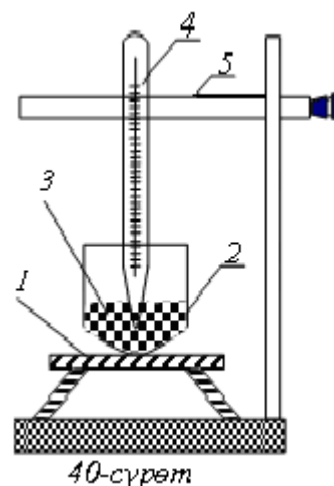
формуласына ээ болобуз. Муну (2.14.2)-формулага коюп металлдын салыштырма эрүү жылуулугун эсептөөчү жумушчу формуланы табабыз:

$$\lambda = \frac{\left[(Mc + mc_c) \frac{dt_c}{d\tau} + (Mc + mc_k) \frac{dt_k}{d\tau} \right] \tau}{2m}. \quad (2.14.7)$$

Мындагы $\frac{dt_c}{d\tau}$ жана $\frac{dt_k}{d\tau}$ эксперименталдык графиктин тиешелүү бөлүктөрүнүн төмөндөө тездиктери катары аныкталат.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Керектелүүчү аспаптар менен таанышып, ушул ишке жарактуусун тандап алгыла. Мисалы, таза калайдын ($t_3=232^{\circ}\text{C}$) фазалык айлануу процессин окуп үйрөнүү үчүн $(300\div 350)^{\circ}\text{C}$ га чейин өлчөй алуучу термометр «4» колдонулат. Коргошундун же башка металлдын эрүүсүн изилдөө үчүн тиешелүү термометр керек. Эгерде андай термометр жок болсо, температураны өлчөө үчүн термопара колдонулат.



2. Изилденүүчү металлды (калайды) «3» жана тигелди «2» таразага тартып, массаларын аныктап алгыла.

3. Металл салынган идишти «1» электр ысыткычтын үстүнө койгула да, учу металлга тийгендей абалда термометрди штативге «5» бекиткиле (40-сүрөт).

4. Ысыткычты иштетип, термометрдин көрсөтүүсүнүн өзгөрүшүн, металлдын эрүүсүн көзөмөлдөгүлө. Металл эрий баштаган температураны эстеп калгыла, ал толук эрип бүткөндөн кийин суюк металлдын температурасы дагы $80\div 100$ градуска көтөрүлгөндө жылуулук берүүнү токтоткула.

5. Суюк металл муздай баштаганда секундомерди (таймерди) иштетип, металлдын температурасынын убакыттын бирдей интервалдарындагы маанилерин аныктап, таблицага түшүргүлө:

Убакыт, τ , с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Термометрдин көрсөтүүсү, $t, ^{\circ}\text{C}$											

Удаалаш өлчөөлөрдүн аралыгы узак болгон учурда металлдын эрүү узактыгын (τ) аныктоо кыйын болот. Ошондуктан, $t(\tau)$ көз карандылыгын өлчөө жыштыгын изилденүүчү заттын өлчөмүнө

(массасына) жараша тажрыйбадан аныктап алууну сунуш кылабыз. Термометрдин учу металлдын бетине 1-2мм ге кирип тийип тургандай болушу зарыл. Өлчөөлөрдү металл кристаллдашкандан кийин да, анын температурасы 80-100 градуска чейин төмөндөгүчө уланткыла.

6. Толтурулган таблицадагы маалыматтарды пайдаланып, заттын температурасынын убакыттан көз карандылыгынын графигин миллиметрдик кагазга чийгиле (39-сүрөт).

7. Графиктен суюк металлдын кристалдашуу температурасын ($t_k=t_3$), кристалдашуу процессинин узактыгын (τ), суюк жана катуу металлдын муздоо тездиктерин аныктагыла.

8. Чоңдуктардын маанилерин (2.14.7)-формулага коюп, изилденүүчү металлдын салыштырма эрүү жылуулугун эсептегиле.

9. Тажрыйбаны оптималдуу шарттарда бир нече жолу кайталагыла жана алынган натыйжаларды таблицага түшүргүлө. Оптималдуу шартты төмөнкүдөй аныктайсыңар. λ нын алдыңкы тажрыйбада алынган маанисин анын таблицалык мааниси менен салыштыргыла. Айырмачылык чоң болуп калса, тажрыйба мезгилинде анын келип чыгышына өбөлгө түзүүчү факторлорду изилдегиле жана кийинки тажрыйбада ал факторлордун таасирин азайтууга аракет жасагыла. Эгерде $t(\tau)$ ийрисиинде кристалдашуу мезгилиндеги горизонталдык түз сызык даана байкалбаса өлчөөлөрдүн аралыгын кыскарткыла.

чоңдуктар	M	c	m	c_c	c_k	t_3	λ	$\bar{\lambda}$	$\Delta\lambda$	$\overline{\Delta\lambda}$	$\frac{\overline{\Delta\lambda}}{\bar{\lambda}} 100\%$
чен бирдиги											
1.											
2.											
3.											

Тыянак: Калайдын эрүү температурасы $t_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ анын таблицалык маанисинен ($t = \underline{\hspace{2cm}}$) айырмаланышынын себеби

Калайдын салыштырма эрүү жылуулугу $\lambda = \bar{\lambda} \pm \overline{\Delta\lambda} = \underline{\hspace{2cm}}$
 Өлчөөлөрдүн тактыгына тескери таасир этүүчү факторлор

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Кристаллдык жана аморфтук заттардын касиеттериндеги айырмачылыктарды түшүндүргүлө.
2. Заттардын катуу, суюк жана газ абалдарында болушу эмнеге байланыштуу болот жана аларды бир абалдан башкасына өткөрүүнүн кандай жолдорун билесиңер?
3. Эрүүнүн салыштырма жылуулугу деп эмнени айтабыз?
4. Эмне үчүн зат эрип же кристаллдашып жаткан мезгилде, ага жылуулук үзгүлтүксүз берилип же андан бөлүнүп чыгып жаткандыгына карабастан, анын температурасы өзгөрбөйт?
5. Ишти аткарууда суюк жана кристаллдашкан металлдын муздоо тездиктерин кантип аныктадыңар?
6. 0°C да өз ара жылуулук тең салмактуулукта болушкан массалары бирдей муз менен суунун кайсынысынын ички энергиясы канчага жана эмне үчүн чоң болот?
7. Термопараны пайдаланып өтө жогорку температураларды өлчөөнүн жолун түшүндүргүлө.

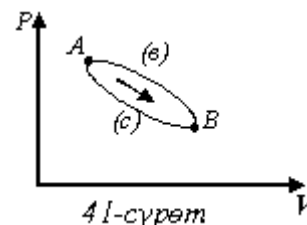
2.15. МЕТАЛЛДАРДЫ ЫСЫТКАНДА ЖАНА ЭРИТКЕНДЕ АНЫН ЭНТРОПИЯСЫНЫН ӨЗГӨРҮШҮН АНЫКТОО

Иштин максаты: системанын абалынын функцияларынын бири -энтропиянын физикалык мааниси, колдонулуштары менен таанышуу;
 -термодинамиканын экинчи законунун энтропия аркылуу туюнтулушун окуп үйрөнүү;
 -металлдар ысыганда жана эригенде алардын энтропиясынын өзгөрүүлөрүн эсептөө.

Иштин жабдылышы: бул иш “Металлдардын эрүү температурасын жана салыштырма эрүү жылуулугун аныктоо” деген иште алынган маалыматтарды пайдаланып аткарылат.

Иштин кыскача теориясы

Адиабаттык процесстен башка бардык реалдуу процесстер изилденүүчү система



(жумушчу зат) менен аны курчап турган нерселердин (чөйрөнүн) ортосунда жылуулук алмашуу аркылуу ишке ашат. Система A абалынан B абалына өтсүн дейли. Бул процесс PV -диаграммасында AB ийриси аркылуу көрсөтүлгөн. Бул процессти ой жүзүндө, ар биринин чегинде системанын T температурасы турактуу сакталгандай, майда элементтерге бөлөлү. Ар бир элементте системага берилген жылуулук саны ΔQ болсун.

Анда ар бир ΔQ нун тиешелүү T га болгон катышы ошол элементтин (процесстин бөлүгүнүн) *келтирилген жылуулугу* деп аталат. Процесстин жүрүшүндө система жылуулукту алышы да, бериши да мүмкүн. Эгерде система жылуулукту алса $\Delta Q > 0$, берсе $\Delta Q < 0$ деп эсептөө кабыл алынган. A дан B га чейинки аралыктагы толук келтирилген жылуулук $\sum \frac{\Delta Q}{T}$, ал эми кайрылуучу процесстерде бул

сумманын предели $\int_A^B \frac{\delta Q}{T}$ интегралына айланат: $\sum \frac{\Delta Q}{T} \Rightarrow \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$.

Эсептөөлөр система кандайдыр бир A абалынан B абалына өткөн кездеги толук келтирилген жылуулуктун чоңдугу өтүүнүн жолунан көз каранды болбой тургандыгын, ал системанын баштапкы жана акыркы абалдары аркылуу аныкталарын көрсөтөт:

$$\int_A^{(b)} \frac{\delta Q}{T} = \int_A^{(c)} \frac{\delta Q}{T}. \quad (2.15.1)$$

Жекече учурда, эгерде система A абалына кайтып келсе (б.а. системанын баштапкы жана акыркы абалдары бир болсо), анда толук келтирилген жылуулук нөлгө барабар:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} + \int_B^A \frac{\delta Q}{T} = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} - \int_A^B \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{же} \quad \oint \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (2.15.2)$$

Демек, жогорудагы талаптарга жооп берген интегралды системанын (баштапкы жана акыркы) абалдарынын кандайдыр бир функциясы аркылуу бир маанилүү туюнтууга, ал эми интеграл алдындагы $\frac{\delta Q}{T}$ функциясын абалдын ал функциясынын дифференциалы менен алмаштырууга болот деген жыйынтыкка келебиз.

Клаузиус системанын абалынын бул функциясын *энтропия* деп атап, S тамгасы аркылуу белгилөөнү сунуш кылган. Анда

$$\frac{\delta Q}{T} = dS \quad \text{жана} \quad \int_A^B \frac{\delta Q}{T} = \int_A^B dS = S_B - S_A = \Delta S, \quad (2.15.3)$$

мында S_B жана S_A – системанын акыркы жана баштапкы абалдарынын энтропиялары, ΔS - энтропиянын өзгөрүшү.

Демек, системанын ар бир тең салмактуу абалы энтропиянын тиешелеш так мааниси менен мүнөздөлөт, б.а. *энтропия - системанын абалынын бир маанилүү функциясы* жана ал абалдын башка функциялары (P, V, T, U) аркылуу туюнтулат.

(2.15.3)-формуладан көрүнүп тургандай, термодинамикада система бир абалдан экинчисине өткөн кездеги анын энтропиясынын өзгөрүшүн гана эсептей алабыз, системанын ар бир тең салмактуу абалынын энтропиясынын чоңдугун аныктай албайбыз. Бул маселе статистикалык физиканын методдорунун жардамында гана чечилет.

Система бир тең салмактуу абалынан экинчи тең салмактуу абалына өткөн кездеги энтропиясынын өзгөрүшүнүн чоңдугу, жалпы учурда, процесстин мүнөзүнөн көз каранды болорун белгилей кетүү зарыл. Мисалы, система А дан В га тең салмактуу процесс жасап өтсө

$$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} \quad \text{же} \quad dS = \frac{\delta Q}{T},$$

ал эми тең салмаксыз процесстерде

$$\Delta S > \int_A^B \frac{\delta Q}{T} \quad \text{же} \quad dS > \frac{\delta Q}{T}.$$

Бул экөөнү бириктирип, Клаузиустун төмөнкү дифференциалдык түрдөгү барабардык- барабарсыздыгына ээ болобуз:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}. \quad (2.15.4)$$

Системага сырттан тиешелүү түрдө таасир этүү менен анын энтропиясын көбөйтүүгө да, азайтууга да болот. Мисалы, нерсеге тең салмактуу шартта жылуулук берсек, анын энтропиясы өсөт :

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \text{ барабардыгынан бул процессте } \delta Q > 0, \text{ жана дайыма } T > 0$$

экендигин эске алсак $dS > 0$ же $S_2 - S_1 > 0, S_2 > S_1$. Эгерде ошол эле шартта нерседен жылуулукту бөлүп алып кетсек $\delta Q < 0$, жана $dS < 0$ же $S_2 - S_1 < 0, S_2 < S_1$, б.а. анын энтропиясы төмөндөйт. Түрдүү процесстерде системанын энтропиясынын өзгөрүшүнүн себептерин статистикалык физиканын көз караштарынын чегинде гана толук түшүндүрүүгө болот.

Айлана-чөйрөдөн ажыратылган, туюк ситемаларда жүрүүчү процесстерде энтропиянын өзгөрүшүн карайлы. Мындай системалар айлана чөйрө менен жылуулук алмашпагандыктан ($\delta Q = 0$), аларда адиабаттык процесстер гана жүрө алат. (2.15.4)-формулага ылайык адиабаттык процесстерде энтропиянын өзгөрүшү

$$dS \geq 0. \quad (2.15.5)$$

Демек, туюк системаларда өз алдынча жүрүүчү процесстерде энтропия азайбайт – өзгөрбөйт (тең салмактуу процесстерде $dS=0$, $S=const$) же өсөт (тең салмаксыз процесстерде $dS>0$, $S_2 > S_1$).

Табияттагы ар кандай өз алдынча жүрүүчү процесс тең салмаксыз мүнөздө ишке ашары белгилүү. Ошондуктан, *толук изоляцияланган (туюк) система өз алдынча энтропиясы кичине абалдан энтропиясы чоң болгон абалга өтөт* деген тыянак чыгарууга болот. Бул айтылган эреже термодинамиканын экинчи законунун аныктоолорунун бири катары кызмат кылат.

Мындан, энтропияны туюк системаларда өз алдынча жүрүүчү процесстердин багытын көрсөтүүчү чоңдук катары колдонууга болорун байкайбыз.

Термодинамиканын экинчи законунун аныктоолорунун башкача айтылыштарын да карап көрөлү. Больцман системанын абалынын энтропиясы (S) бул абалдын термодинамикалык ыктымалдыгына (W_m) түз пропорциялаш экендигин аныктаган:

$$S = k \ln W_m, \quad (2.15.6)$$

мында $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ - Больцман турактуусу. Анда законду абалдын ыктымалдыгы аркылуу: *туюк ситема өз алдынча ыктымалдыгы кичине абалдан ыктымалдыгы чоң абалга өтөт* деп өзгөртүп айтууга болот.

Системанын ыктымалдыгы жана энтропиясы эң чоң абалы анын тең салмактуу абалы экендигин, бул абалда системанын бөлүкчөлөрү тартипсиз, толук баш аламан жайгашарын эске алып, жогорудагы аныктоону - *туюк система өз алдынча бөлүкчөлөрү иреттүүрөөк жайгашкан абалдан бөлүкчөлөрү толук тартипсиз жайгашкан абалга өтөт* деп да айта алабыз.

Термодинамиканын жогоруда айтылган аныктоолорунун баары бири-бирине тең күчтүү.

Мына ошентип, энтропияны жана абалдын ыктымалдуулугун системанын бөлүкчөлөрүнүн жайгашуусунун иретсиздигинин (баш аламандуулугунун) чени катары кароого болот.

Энтропиянын дагы бир касиетине токтололу. Туюк система өз алдынча тең салмактуу абалына өткөндө анын жумуш аткаруу дарамети начарлайт, б.а. энергиясынын «сапаты» жоголот (энергиясы нарксызданат деп да айтышат). Бул учурда энтропия өскөндүктөн, энтропияны туюк системанын берилген абалынын энергиясынын ар кандай процесстерде механикалык жумушка айланбай турган үлүшүн (бөлүгүн) мүнөздөөчү чоңдук катары кароого болот.

Айрым мисалдарды карап көрөлү. Жылуулук өткөрбөөчү идишке ысык жана муздак сууну куюп, бириктирели. Туяк системанын бул абалы тең салмаксыз (бир бөлүгү ысык, экинчи бөлүгү муздак), ошондуктан туруксуз болот. Анын бөлүкчөлөрүнүн кыймылынын жана аракеттенишүүлөрүнүн натыйжасында суунун бөлүктөрүнүн арасында *өз алдынча* жылуулук алмашуу процесси жүрө баштайт, натыйжада суунун ысык бөлүгү муздайт, ал эми муздак бөлүгү ысыйт. Бул процесс суунун бардык бөлүгүнүн температуралары теңелгенче, б.а. туяк системада толук тең салмактуу абал орногонго чейин уланат. Эсептөөлөр бул учурда системанын энтропиясы өсөрүн көрсөтөт. Буга тескери процесс, б. а. тең салмактуу абалдагы суунун бир бөлүгү *өз алдынча* муздап, экинчи бөлүгү ысышы, же жогоруда сөз болгон туяк системанын ысык бөлүгү өз алдынча андан ары ысышы, ал эми муздак бөлүгү андан төмөн муздашы практикада эч качан байкалбайт. Эгерде мындай окуялар ишке ашса, анда ал системалардын энтропиясы өз алдынча азайган болор эле.

Экинчи мисал. Эки бөлүктөн турган идиштин бир бөлүгүндө кандайдыр бир газ толтурулган болсун дейли. Ортодогу тосмону алар замат газ тең салмаксыз абалда калат да өз алдынча боштукка кеңейет. Бул учурда да анын энтропиясы өсөт. Ага тескери процесс - газдын өз алдынча идиштин бир бөлүгүнө топтолуп калышы - эч мүмкүн эмес.

(2.15.3)-тендемеден дагы бир натыйжа чыгаралы. Энтропиянын өсүшү ΔS жылуулуктун эсебинен системанын абалынын өзгөрүү даражасын, андагы баш алмандыктын күчөшүн көрсөтөт. Турактуу температурада системанын абалынын өзгөрүшү ага берилген жылуулук энергиясынын чоңдугуна түз пропорциялаш. Бирок, системанын абалынын өзгөрүү даражасы ага жылуулук кандай шартта берилип жаткандыгына да көз каранды. Бирдей чоңдуктагы Q жылуулугу нерсеге турактуу T_1 жана T_2 температураларга ээ болуп турган шартта берилсин дейли. Бул учурларда анын энтропиясынын өзгөрүшү:

$$\Delta S_1 = \frac{Q}{T_1} \quad \text{жана} \quad \Delta S_2 = \frac{Q}{T_2}.$$

Эгерде $T_1 > T_2$ болсо, анда $\Delta S_1 < \Delta S_2$ болот, б.а. *нерсеге жылуулук муздагыраак кезинде берилсе, анда анын абалы көбүрөөк өзгөрөт* деп жыйынтык чыгара алабыз. Демек, нерсенин температурасынын жогорулашы менен ага берилүүчү жылуулуктун $Q = const$ «таасири» азая берет.

Металлды (ар кандай эле затты) ысытуу жана эритүү өз эркинче эмес, ага жылуулук берүү жолу менен ишке ашкандыктан, бул процесстерде металлдын энтропиясы (ага аракет эткен сырткы нерселердин эсебинен) өсөт.

Массасы m болгон металлды бөлмө температурасынан анын эрүү температурасына чейин ысытып, ал температурада толук эриткен процесстеги энтропиянын өзгөрүшү


$$\Delta S = \int_{T_6}^{T_9} \frac{\delta Q_1}{T} + \int \frac{\delta Q_2}{T} = \int_{T_6}^{T_9} \frac{cmdT}{T} + \frac{1}{T_9} \int \delta Q_2 = cm \int_{T_6}^{T_9} \frac{dT}{T} + \frac{Q_2}{T_9}.$$

Эрүү жылуулугу $Q_2 = \lambda m$ экендигин эске алып

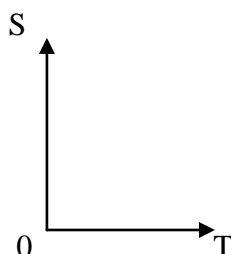
$$\Delta S = \Delta S_{bl} + \Delta S_9 = cm \ln \frac{T_9}{T_6} + \frac{\lambda m}{T_9} \quad (2.15.7)$$

жумушчу формулага ээ болобуз, мында c – металлдын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, λ - металлдын салыштырма эрүү жылуулугу.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Изилденүүчү металлдын тиешелүү параметрлеринин (m , T_9 , c жана λ) маанилерин «Металлдын эрүү температурасын жана салыштырма эрүү жылуулугун аныктоо» деп аталган жумуштан көчүрүп, таблицкага түшүргүлө.
2. Бөлмөнүн температурасын аныктагыла.
3. (2.15.7)-формуланын жардамында металл ысыган жана толук эриген учурдагы энтропиянын өзгөрүүлөрүн (өсүүлөрүн) эсептегиле.
4. Аталган процесстеги энтропиянын өзгөрүшүнүн температурадан көз карандылыгынын графигин  тургузгула.

<i>чоңдуктар</i>	T_6	m	c	T_9	$\bar{\lambda}$	ΔS_{bl}	ΔS_9	ΔS
<i>чен бирдиги</i>								
1.								
2.								
3.								



Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Энтропия деп эмнени айтабыз? Бул чоңдуктун физикалык мааниси, колдонулуштары, чен бирдиги кандай?
2. Больцмандын формуласынын физикалык маанисин түшүндүргүлө.
3. Термодинамиканын экинчи законунун түрдүү аныктоолорун өз ара салыштырып, маанисин чечмелегиле.
4. Туюк системада өз алдынча жана аргасыз жүрүүчү процесстерге мисалдарды келтиргиле.

2.16. БОЛЬЦМАН ТУРАКТУУСУНУН САНДЫК МААНИСИН АНЫКТОО

Иштин максаты: этил эфиринин буусунун үлүштүк басымын өлчөө менен МКТнын негизги турактуусу - Больцман турактуусунун сандык маанисин тажрыйбада аныктоо.

Иштин жабдылышы: борпоң тыгын менен жабылган көлөмү белгилүү болгон айнек идиш, суу манометри, медициналык шприц, термометр, этил эфири.

Иштин кыскача теориясы

Физикалык турактуу чоңдуктар (турактуулар) физикалык теориялардын ядролорунун негизги элементтеринин бири болот. Ар бир фундаменталдык теориянын өзүнүн негизги турактуу чоңдугу белгилүү. Мисалы, классикалык механикада гравитациялык турактуулук G , молекулалык - кинетикалык теорияда Больцман турактуулугу k , электродинамикада жарыктын боштуктагы ылдамдыгы c , кванттык теорияда Планк турактуулугу h ж. б. Азыркы физикалык теорияларга, аларда колдонулган турактуу чоңдуктардын санынын артуусу мүнөздүү. Мисалы, нерселердин нурданууларынын кванттык теориясында үч - k , c , жана h турактуулары колдонулат.

Физикалык теориялар курамындагы турактуулардын сан маанилери белгилүү болгондо гана анык сандык натыйжаларды берет. Ошондуктан турактуу чоңдуктардын сан маанилерин аныктоо – физиканын негизги маселелеринин бири.

Бул иште Больцман турактуулугу k нын сандык мааниси аныкталат. k - системанын макроабалын мүнөздөөчү эки түшүнүктү: термодинамикалык түшүнүк - S менен молекулалык-кинетикалык

түшүнүк – абалдын ыктымалдуулугу W ны байланыштырат. Бул байланышты

$$S = k \ln W \quad (2.16.1)$$

көрүнүшүндө жазууга болот. (2.16.1)-формулануу Больцман статистикалык усулду колдонуу менен келтирип чыгарган, ошодуктан ал *Больцмандын формуласы* деп аталат жана бул формула жылуулук процесстерин баяндоочу термодинамиканын молекулалык–кинетикалык негизделишин камсыздоочу көпүрөнүн ролун аткарат.

Больцмандын формуласынан системанын берилген абалынын энтропиясы ал абалдын термодинамикалык ыктымалдуулугуна түз пропорциялаштыгы көрүнүп турат.

Системанын берилген абалынын ыктымалдыгы үчүн, ал абалды ишке ашыруучу микроабалдардын санын алууга болот. Бөлүкчөлөрүнүн мейкиндикте жайгашуулары же кыймыл ылдамдыгы өзгөргөндө, системанын микроабалы да өзгөрөт. Ошондуктан системанын бир макроабалына көптөгөн микроабалдар туура келет. Системанын термодинамикалык тең салмактуу абалы максималдык микроабалдардын жардамында ишке ашат.

Энтропия жана абалдын ыктымалдыгы түшүнүктөрү термодинамиканын экинчи законун окуп үйрөнүүдө колдонулат. Бул закон жаратылыштагы туюк системаларда өз алдынча жүрүүчү процесстердин багытын көрсөтөт жана жаратылыштын эң негизги закондорунун бири болот.

Абалдын ыктымалдыгы түшүнүгү аркылуу термодинамиканын 2-закону төмөндөгүдөй айтылат: *сырткы чөйрөдөн толук ажыратылган система өз алдынча ыктымалдыгы кичине абалдан ыктымалдыгы чоң абалга өтөт.*

Энтропия түшүнүгү аркылуу бул закон төмөндөгүдөй айтылат: *сырткы чөйрөдөн толук ажыратылган туюк система өз алдынча энтропиясы кичине абалдан энтропиясы чоң абалга өтөт.*

Больцман турактуулугу k заттын абсолюттук температурасы T менен анын бөлүкчөлөрүнүн жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясын да байланыштырат:

$$\bar{\epsilon} = \frac{i}{2} kT, \quad (2.16.2)$$

мында i - бөлүкчөнүн эркин даража саны.

Эркин атом үч алга умтулуу, байланышкан эки атомдон түзүлгөн молекула бөлмө температурасына жакын температураларда үч алга умтулуу жана эки айлануу эркин даража санына ээ. Анда молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы

$$\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} kT \quad (2.16.3)$$

формуласы менен аныкталат.

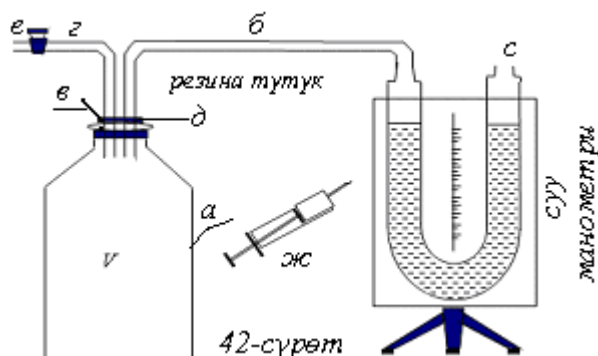
Мына ошентип, заттын абсолюттук температурасы анын бөлүкчөлөрүнүн жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болот.

(2.16.2) жана (2.16.3)–формулалардан, эгерде заттын абсолюттук температурасы $1K$ ге жогоруласа, анда анын бөлүкчөлөрдүн орточо кинетикалык энергиясы $\frac{i}{2}k$ га, ал эми алардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы $\frac{3}{2}k$ га артары көрүнүп турат. Демек, Больцман турактуусу k , заттын температурасы бир бирдикке өзгөргөндө, анын бөлүкчөлөрүнүн орточо кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүнүн чоңдугун мүнөздөйт.

Эксперименталдык курулма жана ишти аткаруунун усулу

Больцман турактуусун аныктоо үчүн колдонулуучу курулманын схемасы 42-сүрөттө көрсөтүлгөн.

Оозу тыгын менен бекитилген, көлөмү V болгон «а» айнек идиш резинадан жасалган «б» түтүктүн жардамында ачык «с» суу манометрине уланган. Идиште басымы атмосфера басымына барабар болгон аба бар. Ошондуктан манометрдин эки муунагындагы суунун деңгээлдери алгач бирдей болот.



Бул иште Больцман турактуусу k идишке жеңил буулануучу өлчөмү белгилүү газды кошумча киргизүү менен анын үлүштүк басымын өлчөп жана ал газга МКТ нын негизги теңдемесин колдонуу аркылуу аныкталат.

Шприцке (ж) массасы белгилүү болгон суюк эфир алынып, ал тыгындан (д) өткөрүлгөн ийне (в) аркылуу идишке куюлат, эфир тез бууланат; эфир буусу идиштин бүткүл көлөмүнө таркалат жана кошумча P үлүштүк басымын пайда кылат. Мунун натыйжасында идиштеги аба жана эфир буусунан турган газдын басымы бөлмөдөгү абанын басымынан чоң болуп калат. Ошондуктан манометрдин муунактарындагы суунун деңгээлдери өзгөрөт. Эфир буусунун P

үлүштүк басымы манометрдин муунактарындагы суунун деңгээлдеринин айырмасына барабар болгон суу мамычасынын басымына барабар болот. Бул басым идиштеги газдын температурасы бөлмөнүн температурасына теңелгенде өлчөнөт. Тыгынга киргизилген ийне сууруп алынбайт, себеби, анын ордуна идиштеги газдын бир бөлүгү сыртка чыгып кетүүсү мүмкүн.

Идиштеги эфир буусун идеалдуу газ деп эсептеп, анын P үлүштүк басымы үчүн идеалдуу газдын МКТ нын негизги теңдемесин

$$P = \frac{1}{3} nm_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon} \quad (2.16.4)$$

колдонууга болот, мында: n - эфир буусунун молекулаларынын концентрациясы, $\overline{\varepsilon}$ - ал молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы. Молекулалардын бул энергиясы (2.16.3)-формула боюнча аныкталат.

(2.16.3)-формуланы (2.16.4)-формулага коюп,

$$P = knT \quad (2.16.5)$$

ээ болобуз.

Идиштеги эфир буусунун молекулаларынын жалпы саны N болсун, анда

$$n = \frac{N}{V} \quad (2.16.6)$$

жана молекулалардын жалпы саны

$$N = \frac{m}{\mu} N_A \quad (2.16.7)$$

формуласы боюнча аныкталат, мында: m - эфир буусунун массасы, μ - эфирдин молдук массасы, N_A - Авогадро саны.

(2.16.6)- жана (2.16.7)-туюнтмаларды (2.16.5)-формулага койсок,

$$P = k \frac{m N_A}{\mu V} T \quad (2.16.8)$$

болот. Мындан

$$k = \frac{PV\mu}{N_A m T} \quad (2.16.9)$$

Ушул эле натыйжага Менделеев–Клапейрондун теңдемесин өзгөртүп түзүү аркылуу да жетүүгө болот:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

$R = kN_A$ болорун эске алып, бул теңдемени

$$PV = \frac{m}{\mu} kN_A T$$

көрүнүшүндө жазууга болот. Мындан k ны тапсак, кайрадан (2.16.9)-туюнтмасын алабыз.

Мына ошентип, тажрыйбада эфир буусунун m массасын, P басымын, V көлөмүн жана T температурасын өлчөп, алынган натыйжаларды (2.16.9)-формулага коюп, Больцман турактуусун аныктоого болот.

Ишти аткаруунун тартиби

1. Курулманын «г» түтүгүндөгү «е» кыскычты идиштеги газдын жана бөлмөдөгү абанын басымдары бири-бирине теңелгенге чейин ачып, кайрадан жапкыла.
2. Шприцке көлөмү $V_0 = (2-3) \text{ см}^3$ болгон эфир алып, аны ийне аркылуу «а» идишине куйгула.
3. 3-4 минутадан кийин эфир буусунун P үлүштүк басымын өлчөгүлө жана аны «Па» менен туюнткула ($1 \text{ см суу мамычасы} = 98 \text{ Па}$).
4. Бөлмөнүн температурасын өлчөгүлө.
5. Идишке куюлган суюк эфирдин массасын $m = \rho V_0$ формуласы боюнча эсептегиле. Эфирдин тыгыздыгы $\rho = 716 \text{ кг/м}^3$, ал эми молдук массасы $\mu = 0,074 \text{ кг/моль}$. Идиштин көлөмү V ны аныктагыла.
6. P , V , m , μ жана T нын маанилерин (2.16.9)-формулага коюп, Больцман турактуусунун сандык маанисин эсептегиле.
7. Курулмадагы «г» түтүккө жайгаштырылган «е» кыскычты 3-4 минутага ачып, «а» идиштеги газдын басымы бөлмөдөгү абанын басымына барабар болгондо кайра жапкыла. Тажрыйбаны кайталагыла. Алынган натыйжаларды төмөнкү таблицка түшүргүлө:

<i>чоңдуктар</i>	V	m	T	P	μ	k	\bar{k}	$\frac{\Delta \bar{k}}{\bar{k}} 100\%$
<i>чен бирдиги</i>								
1.								
2.								
3.								

Тыянак: $k = \bar{k} \pm \Delta \bar{k} = \underline{\hspace{2cm}}$

Билимди текшерүү үчүн суроолор

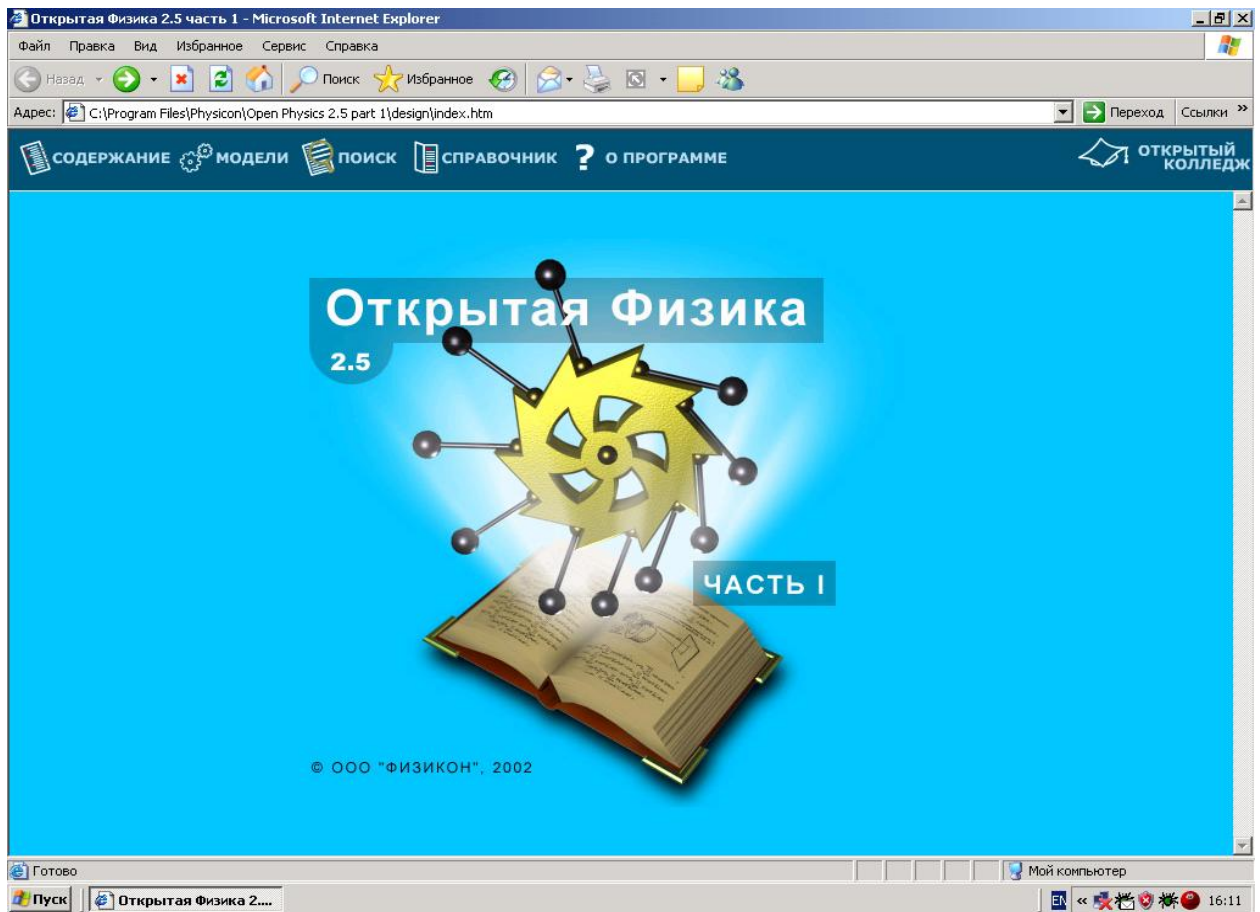
1. Негизги физикалык турактууларды санагыла жана алардын илимдеги ордун талдагыла.

2. Жаратылышта туюк системада процесстер өз алдынча кандай багытта жүрө алышат?
3. Энергиянын эркиндик даражасы боюнча бирдей бөлүштүрүлүшү жөнүндөгү классикалык теорияны пайдаланып молекулалардын жылуулук кыймылынын орточо кинетикалык энергиясын эсептегиле.
4. Больцман турактуусунун физикалык маанисин чечмелегиле.
5. Больцман турактуусун аныктоонун дагы кандай усулдарын билесиңер.
6. *1 см суу мамычасынын* басымы *98 Па* га барабардыгын далилдегиле.

III. КОМПЬЮТЕРДИК МОДЕЛДЕРДИН ЖАРДАМЫНДА АТКАРЫЛУУЧУ ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ИШТЕР

Бул бөлүмдө Windows чөйрөсүндө иштелип чыккан жана Физикон ЖЧК нун «Открытая физика 2.5.»(1-бөлүк) аттуу окутуучу компьютердик программасына киргизилген компьютердик моделдер пайдаланылуучу лабораториялык иштердин баяндамасы камтылган.

Windows 9x чөйрөсүндө иштөө анык бир ык-машыгууларды талап кылат. Программаны ачуу үчүн чычкандын жебесин компьютердик моделдердин жыйнагы берилген бөлүмдүн эмблемасынын үстүнө жайгаштырып, чычкандын сол кнопкасын 2 жолу басуу керек. Мындан кийин экранда төмөндөгүдөй көрүнүштөгү картина пайда болот:



Андан кийин картинанын жогорку жагындагы «Содержание» (Мазмуну) эмблемасына чычкандын жебесин алып барып сол жак кнопканы басуу менен төмөндөгүдөй көрүнүштөгү картинаны көрө алабыз :

Открытая Физика 2.5 часть 1 - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Назад Поиск Избранное

Адрес: C:\Program Files\Physicon\Open Physics 2.5 part 1\design\index.htm

СОДЕРЖАНИЕ МОДЕЛИ ПОИСК СПРАВОЧНИК О ПРОГРАММЕ ОТКРЫТЫЙ КОЛЛЕДЖ

Открытая Физика 2.5 часть 1

Глава 1. Механика

Кинематика

- 1.1. [Основные понятия кинематики](#)
- 1.2. [Относительность движения](#)
- 1.3. [Равномерное движение](#)
- 1.4. [Равноускоренное движение](#)
- 1.5. [Свободное падение тел](#)
- 1.6. [Движение по окружности](#)

Основы динамики

- 1.7. [Первый закон Ньютона. Масса. Сила](#)
- 1.8. [Второй закон Ньютона](#)
- 1.9. [Третий закон Ньютона](#)

Силы в природе

- 1.10. [Закон всемирного тяготения. Движение тел под действием силы тяжести](#)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\mu V = \frac{m}{M} RT$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$A = F \cos \alpha$$

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$F = -kx$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E = -G$$

$$E_{ii} = \frac{kx^2}{2}$$

$$E_{ii} = mgh$$

Готово Мой компьютер

Пуск Открытая Физика 2... Документ1 - Microsoft ... 16:12

Мазмунду толук көрүү үчүн «терезенин» оң жак төмөнкү бурчунда жайгашкан жебеге чычкандын маркерин жайгаштыруу менен анын сол кнопкасын басып туруу керек.

Открытая Физика 2.5 часть 1 - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Назад Поиск Избранное

Адрес: C:\Program Files\Physicon\Open Physics 2.5 part 1\design\index.htm

СОДЕРЖАНИЕ МОДЕЛИ ПОИСК СПРАВОЧНИК О ПРОГРАММЕ ОТКРЫТЫЙ КОЛЛЕДЖ

2.8. [Эффект Доплера](#)

Глава 3. Молекулярная физика и термодинамика

Молекулярно-кинетическая теория

- 3.1. [Основные положения МКТ](#)
- 3.2. [Основное уравнение МКТ газов. Температура](#)
- 3.3. [Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы](#)
- 3.4. [Испарение, конденсация, кипение. Насыщенные и ненасыщенные пары](#)
- 3.5. [Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение](#)
- 3.6. [Кристаллические и аморфные тела](#)
- 3.7. [Деформация](#)

Термодинамика

- 3.8. [Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа в термодинамике](#)
- 3.9. [Первый закон термодинамики](#)
- 3.10. [Теплоёмкость идеального газа](#)
- 3.11. [Тепловые двигатели. Термодинамические циклы. Цикл Карно](#)
- 3.12. [Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики. Понятие энтропии](#)

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$U = \nu C_V T$$

$$\Delta t = \frac{2\sigma}{\lambda}$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\mu V = \frac{m}{M} RT$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$A = F \cos \alpha$$

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$F = -kx$$

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Готово Мой компьютер

Пуск Открытая Физика 2... Документ1 - Microsoft ... 16:12

Өзүбүзгө керектүү бөлүмдү, мисалы, молекулалык физиканы, тандап алуу үчүн жогоркудай эле аракеттерди жасасак, экранда төмөндөгүдөй көрүнүштөгү сүрөт пайда болот. Лабораториялык иштерди ачуу үчүн жибени сүрөттөгү таразанын белгисине коюп, чычкандын сол кнопкасын басуу керек.

3.3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроецессы - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Назад Поиск Избранное

Адрес: C:\Program Files\Physicon\Open Physics 2.5 part 1\design\index.htm

СОДЕРЖАНИЕ МОДЕЛИ ПОИСК СПРАВОЧНИК О ПРОГРАММЕ ОТКРЫТЫЙ КОЛЛЕДЖ

Глава 3. Молекулярная физика и термодинамика

Молекулярно-кинетическая теория

3.3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроецессы

Соотношение

$$p = nkT,$$

связывающее давление газа с его температурой и концентрацией молекул, получено в §3.2 для модели идеального газа, молекулы которого взаимодействуют между собой и со стенками сосуда только во время упругих столкновений. Это соотношение может быть записано в другой форме, устанавливающей связь между макроскопическими параметрами газа – объемом V , давлением p , температурой T и количеством вещества ν . Для этого нужно использовать равенства

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} = \frac{m}{M} \frac{N_A}{V}.$$

Здесь N – число молекул в сосуде, N_A – постоянная Авогадро, m – масса газа в сосуде, M – молярная масса газа. В итоге получим

$$pV = \nu N_A kT = \frac{m}{M} N_A kT.$$

Произведение постоянной Авогадро N_A на постоянную Больцмана k называется *универсальной газовой постоянной* и обозначается буквой R . Ее численное значение в СИ есть:

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

Готово Мой компьютер

Пуск 3.3. Уравнение состо... Документ1 - Microsoft ... 16:13

Картинанын жогорку жагында кызматчы кнопкалар жайгашкан. Бул кнопкалардын эмне кызмат аткараарын, аларга чычкандын маркерин жайгаштырып, 1-2 секундача күтүп, көрүүгө болот ж.б.

Виртуалдык лабораториялык ишке уруксат алуу, аткаруу жана тапшыруу

- Сабак башталганга чейин ар бир студент өзүнүн дептерине берилген лабораториялык иштин баяндамасын кыскача конспектилеп, иштеги суроолордун туура жоопторун тандап, маселелерин чыгарып 1-жана 2-таблицаалардын “Өз алдынча даярданганда. Жообу” графаларын толтуруп келиши керек.
- Окутуучу конспекттин даярдалышын, таблицалардын тиешелүү графаларынын толтурулушун текшерет жана иштин максаты, теориясы, аны аткаруунун усулу, алынуучу натыйжаны иштеп чыгуу ж.б. боюнча суроолорду берет.
- Өз алдынча даярдык канааттандыруу болгон учурда студентке ишти баштоого уруксат берилет.
- Студент алгач ишке өз алдынча алдын ала даярдануусунун жыйынтыгын текшерет. Программаны жана өзү даярдаган таблицаны пайдаланып лабораториялык иштин суроолорунун жана маселелердин жоопторунун тууралыгын кезеги менен текшерип чыгат, 1-жана 2-таблицаалардын «Өз алдынча даярданганда. Баасы» графаларын толтурат.
- Жооптору ката болгон суроолорго жана маселелерге кайрылып, талдоо жүргүзүү, ката кетирүүнүн себебин аныктап, аны жоюуга аракеттенүү өтө маанилүү.
- Виртуалдык физикалык эксперимент катары лабораториялык ишке тиешелүү суроолордо, маселелерде жана кошумча тапшырмаларда сөз болгон физикалык процесстерди программанын жардамында моделдештирүү, аны пайдаланып коюлган суроолордун жообун даярдоо, изилденүүчү процесстердин закон ченемдүүлүктөрүн өздөштүрүү сунуш кылынат.
- Виртуалдык эксперименттин жүрүшүндө алынган бардык маалыматтар атайын дептерге (черновикке) ирети менен жазылып, алардын негизинде тиешелүү таблицалар жана графиктер даярдалышы керек. Графиктерди дептердин барагынын жарымынан кичине болбогон өлчөмдөгү миллиметрдик кагазга калем менен сызуу, масштабды туура тандоо, графиктин атын жана координата окторуна чоңдуктардын чен бирдигин көрсөтүү сунуш кылынат. Ар бир график боюнча корутунду, тыянак чыгарылып жазылышы керек.
- Виртуалдык лабораториялык иштерди аткаруунун алгачкы эки этабы өз-өзүнчө, иштин жүрүшүндө эле жыйынтыкталып, «бааланат». Жалпы жыйынтык иштин отчетун тапшырганда чыгарылат.

3.1. ИЗОТЕРМАЛЫК ПРОЦЕССИ ОКУП ҮЙРӨНҮҮ $\epsilon = const$

Иштин максаты:

- Идеалдуу газдагы изотермалык процессти сүрөттөөчү динамикалуу компьютердик модель менен таанышуу.
- Изотермалык процесстин закон ченемдүүлүктөрүн эксперименталдык тастыктоо.
- Термодинамиканын 1-законунун изотерма процессинде колдонулушун виртуалдык эксперименттин жардамында окуп үйрөнүү.

Иштин жабдылышы: Пентиум-4 компютери, «Открытая физика 2.5», 1-бөлүк – компьютердик окутуучу программасы.

Иштин кыскача теориясы

Системанын абалын аныктоочу макроскопиялык параметрлер (чоңдуктар) бири-бири менен закон ченемдүү байланышышат. Кандайдыр бир нерсенин абалынын параметрлеринин ортосундагы байланышты аныктоочу катнаш ушул нерсенин *абалынын теңдемеси* деп аталат.

Эң жөнөкөй учурда, нерсенин тең салмактуу абалы басым P , көлөм V жана температура T (Открытая физика 2.5. ч. I. §3.2.) сыяктуу үч параметрдин маанилери аркылуу аныкталат. Бул параметрлердин ортосундагы байланыш

$$f(P, V, T) = 0$$

аналитикалык формуласы менен туюнтулат.

Газдын абалы да ушул үч параметрге көз каранды. Идеалдуу газ үчүн ушул үч чоңдуктун байланышын аныктоочу теңдемени келтирип чыгаралы. Бул максатта молекулалары өз-ара жана өзү камалган идиштин дубалдары менен серпилгичтүү кагылышкан газдын идеалдуу модели үчүн жазылган, газдын басымы менен анын температурасынын жана молекулаларынын концентрациясынын байланышын туюнткан

$$P = nkT$$

катнашына (Открытая физика 2.5. ч. I. §3.2)

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} = \frac{m}{\mu} \frac{N_A}{V}$$

барабардыгын колдонобуз.

Мында N - идиштеги молекулалардын саны, N_A - *Авогадро турактуусу* (Открытая физика 2.5. ч. I. §3.1.), m - идиштеги газдын массасы, μ - газдын молдук массасы.

Жыйынтыгында

$$PV = \nu N_A kT = \frac{m}{\mu} N_A kT$$

туюнтмасын алабыз.

N_A Авогадро турактуусунун k *Больцман турактуусуна* (Открытая физика 2.5. ч.I.§3.2.) болгон көбөйтүндүсү *универсалдык газ турактуусу* деп аталат жана R тамгасы менен белгиленет. Анын СИ деги сан мааниси

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

Анда жогорку барабардык

$$PV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT \quad (3.1.1)$$

көрүнүшүнө келет жана *идеалдуу газ абалынын теңдемеси* деп аталат. Бул теңдеме XIX кылымдын орто ченинде француз физиги Б.Клапейрон тарабынан алынган жана аны (3.1.1) формасында биринчи болуп Д.И.Менделеев жазган. Ошондуктан аны *Менделеев-Клапейрондун теңдемеси* деп аташат. Ал теңдеме газдын тең салмактуу, б.а., анын абалын аныктоочу параметрлердин маанилери бүтүндөй көлөм боюнча бир тектүү жана бардык убакытта бирдей болгон абалын мүнөздөйт. Иш жүзүндө мындай шартты ишке ашыруу абдан кыйын. Ошондуктан, Менделеев-Клапейрондун теңдемеси реалдуу газдар үчүн чектик учур болгон газдын жөнөкөй моделинин - идеалдуу газдын касиетин мүнөздөйт. Бул теңдеме каалагандай газдын **бир моль** (Открытая физика 2.5. ч.I.§3.1) ($\nu = \frac{m}{\mu} = 1 \text{ моль}$) үчүн төмөнкүдөй көрүнүшкө келет

$$PV = RT \quad (3.1.2)$$

Эгерде газдын температурасы $T_H = 273,15 \text{ К}$ (0°C), ал эми басымы $P_H = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ барабар болсо, анда ал газ *нормалдуу шартта* турат деп эсептелет. (3.1.2) теңдемесинен нормалдуу шарттагы бардык газдардын бир молунун көлөмү бирдей V_0 жана төмөнкүчө аныкталары келип чыгат:

$$V_0 = \frac{RT}{P} = 0,0224 \text{ м}^3 / \text{моль} = 22,4 \text{ дм}^3 / \text{моль} .$$

Ошондой эле, бардык газдардын молекулаларынын концентрациялары бирдей шартта бирдей мааниге ээ болушат. Мисалы, нормалдуу шартта бир моль газдын концентрациясы:

$$n_0 = \frac{N_A}{V_0} = 2,686754 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3} .$$

Бул сан *Лошмиддин турактуусу* деп аталат.

Ошентип, идеалдуу газ абалынын теңдемесинен бирдей шартта – бирдей температурада жана басымда бардык газдардын барабар көлөмүндө бирдей сандагы молекулалар болору келип чыгат. Бул тыянак *Авогадро закону* деп аталат. Ал 1811-жылы аныкталган.

Өз ара аркеттенишпөөчү газдардын аралашмасы үчүн абалдын

тендемеси

$$PV = (v_1 + v_2 + v_3 + \dots) RT$$

көрүнүшүндө жазылат, мында v_1, v_2, v_3 ж.б. аралашмадагы ар бир газдын затынын саны.

Газ анын абалын мүнөздөөчү бардык параметрлер (P, V, T) өзгөрүүчү жылуулук процесстерине катышышы мүмкүн. *Процесс* – газдын (системанын) бир абалдан башка абалга өтүүсү. Жаратылыштагы жана техникадагы көпчүлүк процесстерде газдын жогоруда аталган параметрлери өзгөрүп турат. Эгерде процесс өтө жай жүрсө, б.а., анын параметрлеринин өзгөрүү ылдамдыгы өтө кичине болсо, анда процесстин жүрүшүндө система өзүнүн удаалаш, бири-биринен анчалык айырмаланбаган, тең салмактуу абалдары аркылуу өтөт деп эсептөөгө болот. Мындай процесстер *тең салмактуу же квазистатикалык процесстер* деп аталышат. Биз газдын тең салмактуу же квазистатикалык процесстин карайбыз. Анткени, жогоруда белгилегендей, Менделеев-Клапейрондун тендемеси ушундай процесстер үчүн гана туура.

Айрым процесстерде бул параметрлердин бирин башкаларына салыштырмалуу турактуу деп эсептөөгө болот. P, V, T параметрлеринин бири турактуу болуп, калган экөөнүн өзгөрүүсү менен жүргөн процесстер *изопроцесстер* деп аталат.

Изопроцесстердин жана изопроцесстерди сүрөттөөчү газ закондорунун өзгөчөлүктөрүн компьютердик моделдердин жардамында эксперименталдык түрдө окуп үйрөнөлү.

Бул закондорду идеалдуу газдын абалынын тендемесинен келтирип чыгаралы жана аларды молекулалык-кинетикалык теориянын (МКТ) көз караштарынын чегинде (Открытая физика 2.5. ч.1.§3.1) түшүндүрөлү.

Изопроцесстердин закондорун газдын абалынын өзгөрүшүнүн кеңири интервалында колдонууга болот, бирок өтө жогорку басымдарда жана төмөнкү температураларда алар аткарылбайт, анткени бул учурларда газды идеалдуу газ катарында карай албайбыз.

Температура турактуу $(P = const)$ кезинде жүрүүчү квазистатикалык процесс *изотермалык процесс* деп аталат. Идеалдуу газ абалынын (3.1.1) тендемесинен, турактуу температурада жана идиштеги заттын саны өзгөрбөй жүрүүчү процесстерде, газдын басымынын анын көлөмүнө болгон көбөйтүндүсү турактуу калаары келип чыгат

$$PV = const \quad \text{же} \quad P \sim \frac{1}{V} \quad (3.1.3)$$

Демек, (3.1.3) дөн көрүнүп тургандай, изотермалык процесс кезинде газдын берилген массасынын көлөмү өзгөрсө, анын басымы да

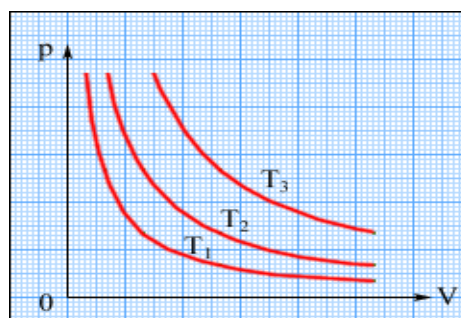
өзгөрөт, бирок алардын көбөйтүндүсү турактуу бойдон калат. Газдын көлөмү канча эсеге чоңойсо, басымы ошончо эсеге азаят же тескерисинче, б.а., газдын басымы анын көлөмүнө тескери пропорциялаш болот.

Бул закон ченемдүүлүккө биз идеалдуу газ абалынын теңдемесин талдоонун негизинде келдик. Бирок физикада ал алгачкы жолу тажрыйба жүзүндө англиялык окумуштуу Р.Бойль (1662ж.) жана андан көз карандысыз түрдө француз окумуштуусу Э.Мариотт (1676ж.) тарабынан ачылган. Ошондуктан ал *Бойль-Мариотт закону* деп аталат.

Бойль-Мариотт законун МКТнын негизги жоболоруна таянуу менен төмөндөгүдөй түшүндүрүүгө болот: процесстин жүрүшүндө газдын температурасы турактуу сакталгандыктан газдын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиялары өзгөрбөйт. Ошондуктан газдын көлөмүн чоңойткондо анын молекулаларынын концентрациясы, б.а., көлөм бирдигиндеги молекулаларынын саны азаят. Бул - басым көрсөтүлүүчү бетке урунуучу молекулалардын саны азаят дегенди билдирет. Анын натыйжасында газдын ошол бетке жасаган басымы азаят. Эгерде газдын көлөмү кичирейтилсе, анда жогорудагыга тескери факт орун алат.

43-сүрөттө түрдүү температуралардагы изотермалык процесстердин графиги (P, V) координата системасында (тегиздигинде) берилген. Графиктер гипербола $P \sim \frac{1}{V}$ көрүнүшүндө болот жана

изотерма ийрилери деп аталышат. Бул катнашта пропорциалаштык коэффициенти температуранын өсүшү менен артат. Сүрөттөн көрүнүп тургандай, температуранын жогорку маанисине тиешелүү изотерма, температуранын төмөнкү маанисине тиешелүү изотермадан жогору жатат.



43-сүрөт
(P, V)-тегиздигиндеги
изотермалар
 $T_3 > T_2 > T_1$

Мына ошентип, изотерма процесси системанын (газдын) температурасын турактуу сактоо менен, анын көлөмүн жана басымын өзгөртүү аркылуу ишке ашат. Идеалдуу газдын ички энергиясы анын бөлүкчөлөрүнүн кинетикалык энергияларынын суммасынан гана тургандыктан, температурага гана көз каранды болот. Ошондуктан температурасы турактуу сакталган идеалдуу газдын ички энергиясы да турактуу болот. Демек, изотерма процессинде $T = const$ болгондуктан, $U = const$, $dU = 0$

болот жана бул процесс үчүн термодинамиканын I закону (энергиянын сакталуу закону)

$$\delta Q = \delta A \quad (3.1.4)$$

көрүнүшүндө жазылат. Мындан көрүнүп тургандай, идеалдуу газды (системаны) изотермалык кеңейтүү үчүн ага сырттан берилген δQ жылуулук саны толук бойдон сырткы күчтөргө каршы газ аткарган δA термодинамикалык жумушка сарпталат. Демек, изотерма процессинде жылуулук энергиясынын эсебинен максималдык жумуш аткарууга болот. Эгерде система изотермалык шартта жылуулук санын алса ($\delta Q > 0$), анда ал кеңейип, оң жумуш аткарат ($\delta A > 0$). Жылуулукту сыртка берүү үчүн ($\delta Q < 0$), система кысылып, терс жумуш аткарышы керек ($\delta A < 0$), б.а. сырткы күчтөр газды кысып, жумуш аткарышы зарыл. Демек, ички энергиясы өзгөрбөй калсын үчүн, система сырттан жылуулук алган учурда, анын көлөмү чоңоюшу, ал эми, ал сыртка жылуулук берген учурда, анын көлөмү кичирейиши керек.

Лабораториялык иштин суроолору

1. Изотерма процессинин жүрүшүндө газдын көлөмү 3 эсе артса, анын басымы кандай өзгөрөт?

(Жообу: Өзгөрбөйт / 3 эсе азаят / 3 эсе чоңоет / 1 – 3 жоопторунун арасында туурасы жок)

2. Изотерма процессинде газдын басымы 2 эсе азайса, анын көлөмү кандай өзгөрөт?

(Жообу: Өзгөрбөйт / 2 эсе кичирейет / 2 эсе чоңоет / 1 – 3 жоопторунун арасында туурасы жок)

3. Бир атомдуу идеалдуу газдын абалын изотермалык өзгөртүүдө көлөмү 4 эсе чоңойсо, анын ички энергиясы кандай өзгөрөт?

(Жообу: Өзгөрбөйт / 4 эсе азаят / 4 эсе артат / 1 – 3 жоопторунун арасында туурасы жок)

4. Изотерма процессинин жүрүшүндө газ сыртка 50 Дж жылуулук санын берген. Газ аткарган жумушту аныктагыла.

(Жообу: 0 Дж / 50 Дж / –50 Дж / 1–3 жоопторунун арасында туурасы жок)

5. Бир моль бир атомдуу идеалдуу газды изотермалык кысууда сырткы күч 20 Дж барабар болгон жумуш аткарат. Эгерде бул учурда

газ сыртка $20Дж$ жылуулук санын берсе, анда анын ички энергиясынын өзгөрүшүн аныктагыла.

(Жообу: $Өзгөрбөйт / 20Дж$ го азаят / $20Дж$ го артат / $40Дж$ го азаят / $40Дж$ го артат)

Лабораториялык иштин маселелери

1. Бир моль идеалдуу газ $300K$ температурада $20дм^3$ көлөмдү ээлейт. Газдын басымын $кПа$ да аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $P =$ $кПа$)

2. Көлөмү $30дм^3$ баллондо $100кПа$ басым астында бир моль идеалдуу газ бар. Газдын температурасын аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзүп, жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $T =$ K)

3. Изотермалык кысуунун жүрүшүндө бир моль идеалдуу газдын көлөмү 4 эсе кичирейет. Эгерде газдын баштапкы көлөмү температура $400K$ кезинде $40дм^3$ түзсө, анда анын акыркы басымын аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзүп, жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $P =$ $кПа$)

4. Изотерма процессинде бир моль газдын көлөмү $10дм^3$ дан $40дм^3$ га чейин чоңойсо, басымы $184кПа$ га өзгөрөт. Газдын баштапкы басымын ($кПа$ да) жана анын абсолюттук температурасын аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзүп, жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $P =$ $кПа$, $T =$ K)

5. Цилиндрде поршень алдында температурасы $240K$ болгон бир моль газ бар. Газдын температурасы $1,5$ эсе артканда, поршень баштапкы абалында калсын үчүн газдын басымы $25кПа$ га чоңоет. Газдын баштапкы басымын ($кПа$ да) жана анын көлөмүн аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзүп, жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $P =$ $кПа$, $V =$ $дм^3$)

6. Газды 1,25 эсе изотермалык кысууда басым 18кПа га артат. Газды дагы 2,5 эсе изотермалык кысууда басым дагы канчага артат? Компьютердик экспериментти жүргүзүп, жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $\Delta P =$ кПа)

Ишти аткаруунун тартиби

1. Теориялык материал менен таанышып чыккандан кийин бул лабораториялык ишке тиешелүү суроолордун туура жоопторун тандап, 1-таблицанын жана, маселелерди чыгарып, 2-таблицанын «Өз алдынча даярданганда. Жообу» графаларын толтургула.

2. Виртуалдык лабораториялык ишти аткарууга даярдагыла. Ал үчүн «Открытая физика. 2.5», (часть 1) компьютердик окутуучу программасынан «Лабораторная работа 3.1. Изотермический процесс» темасын ачкыла. Экранда төмөнкү картина пайда болот. Сүрөттү көңүл коюп карап, бардык жөнгө салгычтарды ж.б. негизги элементтерди тапкыла.

Лабораторная работа 3.1. Изотермический процесс

Глава 3. Молекулярная физика и термодинамика

Лабораторная работа 3.1. Изотермический процесс

$T = \text{const}$

$P = 42 \text{ kPa}$ $V = 60.0 \text{ dm}^3$

$T = 300 \text{ K}$

Run Reset

Вопрос №1

В ходе изотермического процесса объем газа увеличился в 3 раза. Как изменилось давление газа?

Не изменилось
 Уменьшилось в 3 раза
 Увеличилось в 3 раза
 Среди ответов 1-3 нет правильного

ПРОВЕРИТЬ

Вопросы для лабораторных работ
1 2 3 4 5

Задачи для лабораторных работ
1 2 3 4 5 6

Мында газда жүрүүчү изотермалык процесс, б.а., термостат менен контактта турган ($T = const$) идеалдуу газды квазистатикалык кысуу же кеңейтүү процесси моделдештирилген. Температуранын терезчесине тиешелүү кнопкаларды пайдаланып термостаттын температурасын белгилүү чекте өзгөртүп, тандап алууга болот. «Старт» кнопкасын басып, виртуалдык экспериментти баштаганда цилиндрдеги газдын абалынын үзгүлтүксүз өзгөрүшү көрсөтүлөт, тандалып алынган шарттардагы изотерма процесси үчүн $P(V)$ көз карандылыгынын графиги чийиле баштайт жана газга берилген жылуулуктун санын, газ аткарган жумушту, газдын ички энергиясынын өзгөрүшүн көрсөткөн динамикалык энергетикалык диаграмма чыгарылат. Атайын терезеде процесстин түрдүү моменттериндеги, б.а. изотерма сызыгын бойлото жылып жүргөн кызыл чекиттин абалына туура келген газдын басымынын жана көлөмүнүн сан маанилери чагылдырылып барат. Энергетикалык диаграмманын шкаласынын бир бөлүгүн 10 Дж га барабар деп алгыла.

Энергетикалык диаграмманы пайдаланып, изотермалык кысуу же кеңейтүү процесстеринде идеалдуу газдын ички энергиясынын өзгөрбөстүгүнө жана ага берилген жылуулук санынын толук бойдон жумушка айланаарына көңүл бургула.

3. Программаны пайдаланып лабораториялык иштин суроолоруна жоопторду (1-таблица) жана маселелердин чыгарылышын (2-таблица) кезеги менен текшергиле. Таблицалардын «*Өз алдынча даярданганда. Баасы*» графасына жообуңар туура болсо 1, ката болсо 0 балл коюп, толтургула.

4. Терезенин сол тарабындагы моделди пайдаланып, кезеги менен ар бир суроонун жана маселенин шартындагы процесс так аткарылгандай кылып виртуалдык эксперимент жүргүзгүлө. Процесссти моделдештирүү жана башкаруу үчүн «*Старт/стоп*» кнопкасын, тиешелүү параметрлердин сан маанилерин пайдалангыла. Ар бир эксперименттин натыйжасын таблицалардын «*Виртуалдык экспериментте. Жообу*» графасына, ал эми текшерүүнүн натыйжасын «*Баасы*» графасына (*1 же 0*) жазгыла.

5. Суроолор жана маселелер боюнча орточо жана жалпы бааңарды эсептеп, тиешелүү графаларды толтургула.

6. Жооптордун ката болуп калышынын себептерин талдагыла.

7. Түрдүү $T_3 > T_2 > T_1$ температуралары үчүн изотермаларды моделдештиргиле, алардын натыйжаларын 3-таблицага, ал эми графиктерин (P, V) -, (P, T) - жана (V, T) -тегиздиктерине түшүргүлө.

8. Компьютердик моделди, 3-таблицаны жана жогорудагы графиктерди пайдаланып, кандай изотермалык процесстерде газ эң көп жумуш аткара аларын, андан эң көп жылуулук бөлүнүп чыгарын жана ички энергиясы эң көп өзгөрүлөрүн аныктагыла. Жообуңарды МКТга таянып негиздегиле жана кыскача тыянак түрүндө жазгыла.

1. Суроолор

1-таблица

Суроо	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
5					
Жалпы басы:					

2. Маселелер

2-таблица

Маселе	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Жалпы баасы:					

3. Кошумча тапшырмалар

3-таблица

Температура, К	Баштапкы		Акыркы		Q, Дж	A, Дж	ΔU , Дж
	$P_1, \text{кПа}$	$V_1, \text{дм}^3$	$P_2, \text{кПа}$	$V_2, \text{дм}^3$			
$T_1 =$							
$T_2 =$							
$T_3 =$							

4. Графиктер:

5. Тыянактар:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Идеалдуу газ деп эмнени айтабыз? Бул түшүнүктү киргизүүнүн зарылдыгы эмнеде?
2. Идеалдуу газдын МКТсынын негизги теңдемесинин, абалынын теңдемесинин физикалык маанисин түшүндүргүлө.
3. Температура түшүнүгү физикага эмне максатта киргизилген? Температуралык шкалалар жана алардын өз ара байланышы.
4. Процесс деген эмне? Изопроцесстер деп кандай процесстерди айтабыз?
5. Идеалдуу газды изотермалык шартта кеңейтүү же кысуу үчүн кандай аракеттерди жасообуз керек? Бул процесс үчүн идеалдуу газдын абалынын теңдемесинен кандай натыйжаларды алууга болорун көрсөткүлө.
6. Изотермалык кысуу же изотермалык кеңейтүү процесстеринде идеалдуу газдын ички энергиясы өзгөрөбү? Себебин түшүндүргүлө.
7. Жылуулук кубулуштары үчүн энергиянын сакталуу законун изотермалык процеске колдонуп, андан тиешелүү тыянактарды чыгарууга аракеттенгиле.
8. Термостат деп эмнени айтабыз?

3.2. ИЗОХОРАЛЫК ПРОЦЕССТИ ОКУП ҮЙРӨНҮҮ $Q = const$

Иштин максаты:

- Идеалдуу газдагы изохоралык процессти сүрөттөөчү динамикалуу компьютердик модель менен таанышуу.
- Изохоралык процесстин закон ченемдүүлүктөрүн эксперименталдык тастыктоо.
- Термодинамиканын I законунун изохора процессинде колдонулушун виртуалдык эксперименттин жардамында окуп үйрөнүү.

Иштин жабдылышы: Пентиум-4 компьютери, «Открытая физика 2.5», 1-бөлүк – компьютердик окутуучу программасы.

Иштин кыскача теориясы

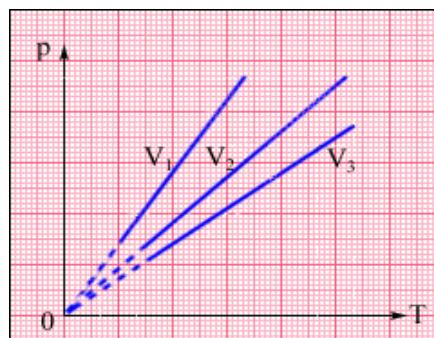
Изохоралык процесс – бул көлөмү жана идиштеги заттын саны өзгөрбөгөн шартта газды квазистатикалык ысытуу же муздатуу процесси. Идеалдуу газдын абалынын $PV = RT$ теңдемесинен, мындай

шартта газдын басымы анын абсолюттук температурасына түз пропорциялуу өзгөрөрү келип чыгат:

$$P \sim T \quad \text{же} \quad \frac{P}{T} = \text{const} . \quad (3.2.1)$$

Демек, $V = \text{const}$ болгон шартта жүрүүчү процесс кезинде газдын берилген массасынын температурасы өзгөртүлсө, анын басымы да өзгөрөт, бирок басымдын абсолюттук температурага болгон катышы турактуу бойдон калат. Газдын температурасы канча эсе жогоруласа, анын басымы да ошончо эсеге чоңоет жана тескерисинче.

Бул закон МКТ боюнча төмөнкүдөй түшүндүрүлөт: температура, мисалы, жогоруласа газдын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоңоюп, алар басым жасалуучу бетке, көлөм турактуу болгондуктан, чоңураак импульс менен барып урунат. Натыйжада газдын ошол бетке жасаган басымы чоңоет жана тескерисинче.



44-сүрөт
(P, T) тегиздигиндеги изохоралар
 $V_3 > V_2 > V_1$

44–сүрөттө берилген сандагы зат үчүн көлөмдүн түрдүү маанилериндеги изохоралык процесстердин (P, T) координата системасындагы графиктери берилген. Алар түз сызык түрүндө болушат жана *изохоралар* деп аталышат. Көлөмдүн чоң маанилерине температура огуна азыраак бурч менен жантайган изохоралар тиешелүү болот.

Көлөмү турактуу газдын басымынын температурадан көз карандылыгын алгачкы жолу француз физиги Ж.Шарль изилдеп, жогорку законду тажрыйба жүзүндө 1787-жылы ачкан. Ошондуктан ал *Шарль закону* деп аталат. Изохоралык процесстин теңдемеси төмөнкүдөй көрүнүштө да жазылат

$$P = \frac{P_0}{T_0} T = P_0 \alpha T ,$$

мында P_0 - газдын $T = T_0 = 273,15K$ (б.а. $0^\circ C$) температурадагы басымы, $\alpha = \left(\frac{1}{273,15}\right)K^{-1}$ барабар жана *басымдын температуралык коэффициентти* деп аталат.

Изохора процессинде газдын басымы менен температурасы өзгөрүлүп, көлөмү өзгөрбөгөндүктөн, сырткы күчтөргө каршы жумуш аткарылбайт. Демек, $V = \text{const}$, $dV = 0$ болгондуктан $\delta A = PdV = P \cdot 0 = 0$ болот. Анда бул процесс үчүн термодинамиканын 1-закону

$$\delta Q = dU \quad (3.2..2)$$

көрүнүшүндө жазылат.

Демек, *изохора процессинде системага берилген жылуулук саны толук бойдон анын ички энергиясын өзгөртүүгө сарпталат*. Эгерде система δQ жылуулук санын алса ($\delta Q > 0$), анда анын ички энергиясы чоңоет ($dU > 0$). Ал эми система сыртка δQ жылуулук санын берсе ($\delta Q < 0$), анын ички энергиясы азаят ($dU < 0$).

Лабораториялык иштин суроолору

1. Изохора процессинин жүрүшүндө идеалдуу газдын абсолюттук температурасы жана басымы 2 эсе артса, анын көлөмү кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 2 эсе кичирейет / 2 эсе чоңоет / 4 эсе кичирейет / 4 эсе чоңоет)

2. Идеалдуу газ 100°C ден 500°C ге чейин изохоралык ысытылса, газдын басымы кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 5 эсе азаят / 5 эсе чоңоет / 1-3 жооптордун арасында туурасы жок)

3. Изохоралык процесстин жүрүшүндө газдын басымы 5 эсе артса, анын абсолюттук температурасы кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 5 эсе төмөндөйт / 5 эсе жогорулайт / 1-3 жооптордун арасында туурасы жок)

4. Изохоралык процесстин жүрүшүндө газдын басымы алгач 2 эсе арткан, андан кийин 4 эсеге азайган. Газдын абсолюттук температурасы баштапкы маанисине салыштырганда кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 2 эсе төмөндөйт / 2 эсе жогорулайт / 4 эсе төмөндөйт / 4 эсе жогорулайт)

5. Идеалдуу газ 200K ге, андан кийин дагы 200K ге изохоралык ысытылат. Бул эки учурдун кайсынысында басым чоң мааниге артат?

(Жообу: биринчи / экинчи / басым эки учурда тең бирдей эле чоңдукка артат / жооп үчүн берилгендер жетишсиз)

6. Эгерде бир атомдуу идеалдуу газдын ички энергиясынын өзгөрүшү ага берилген жылуулуктун санына барабар болсо, анда кандай процесс жүргөн болот.

(Жообу: изобаралык / изохоралык / изотермалык / адиабаттык / жооп үчүн берилгендер жетишсиз)

Лабораториялык иштин маселелери

1. Баллондогу бир моль идеалдуу газдын температурасы $370K$ жана басымы $88кПа$. Газдын көлөмүн (dm^3) аныктагыла. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $V = \quad dm^3$)

2. Изохоралык процесстин жүрүшүндө идеалдуу газдын басымы 3 эсе азаят. Эгерде газдын баштапкы температурасы $450K$ болсо, анда анын акыркы температурасын тапкыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $T = \quad K$)

3. Газды изохоралык ысытууда анын басымы 2,5 эсе чоңоет. Эгерде газдын баштапкы температурасы $-73^{\circ}C$ болсо, анда ал канча градуска ысытылган?. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $\Delta T = \quad K$)

4. Температурасы $460K$ кезинде бир моль идеалдуу газдын басымы $153кПа$ ды түзөт. Басымы $103кПа$ га барабар болсун үчүн, газды канча градуска изохоралык түрдө муздатуу керек? Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $|\Delta T| = \quad K$)

5. Изохоралык процесстин жүрүшүндө газдын басымы 3 эсе азайып, ал эми температурасы $200K$ ге өзгөргөн. Газдын баштапкы температурасын тапкыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $T = \quad K$)

6. $50K$ ге изохоралык ысытууда идеалдуу газдын басымы 20% ке чоңойгон. Газдын баштапкы температурасын тапкыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $T = \quad K$)

7. Көлөмү $20dm^3$ бир моль бир атомдуу идеалдуу газ $260K$ ге изохоралык ысытылат. Эгерде газдын акыркы басымы $191кПа$ ды түзсө,

анын баштапкы басымын (κPa) аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле
(Жообу: $P = \kappa Pa$)

Ишти аткаруунун тартиби

1. Теориялык материал менен таанышып чыккандан кийин бул лабораториялык ишке тиешелүү суроолордун туура жоопторун тандап, 1-таблицанын жана, маселелерди чыгарып, 2-таблицанын «Өз алдынча даярданганда. Жообу» графаларын толтургула.

2. Виртуалдык лабораториялык ишти аткарууга даярдагыла. Ал үчүн «Открытая физика. 2.5», (часть 1) компьютердик окутуучу программасынан «Лабораторная работа 3.2. Изохорный процесс» темасын ачкыла. Экранда төмөнкү картина пайда болот. Сүрөттү көңүл коюп карап, бардык жөнгө салгычтарды ж.б. негизги элементтерди тапкыла.

Мында газдагы изохоралык процесс, б.а., турактуу көлөмдө ($V = const$) идеалдуу газды квазистатикалык ысытуу же муздатуу процесси моделдештирилген. Көлөмдүн терезечесиндеги жөнгө салуучу кнопкаларды пайдаланып идиштин (газдын) көлөмүн белгилүү чекте өзгөртүп, тандап алууга

болот. «Старт» кнопкасын басып, виртуалдык экспериментти баштаганда цилиндрдеги газдын абалынын үзгүлтүксүз өзгөрүшү көрсөтүлөт, тандалып алынган шарттардагы изохора процесси үчүн $P(T)$ көз карандылыгынын графиги чийиле баштайт жана газга берилген жылуулуктун санын, газдын ички энергиясынын өзгөрүшүн көрсөткөн динамикалык энергетикалык диаграмма чыгарылат. Атайын терезеде процесстин түрдүү моменттериндеги, б.а. изохора сызыгын бойлото жылып жүргөн кызыл чекиттин абалына туура келген газдын басымынын жана температурасынын сан маанилери чагылдырылып барат. Энергетикалык диаграмманын шкаласынын бир бөлүгүн 10 Дж га барабар деп алгыла.

Энергетикалык диаграмманы пайдаланып, изохоралык ысытуу же муздатуу процесстеринде идеалдуу газдын жумуш аткарбай тургандыгына, ага берилген жылуулук саны толук бойдон газдын ички энергиясын жогорулатууга сарпталарына көңүл бургула.

3. Программаны пайдаланып лабораториялык иштин суроолоруна жоопторду (1-таблица) жана маселелердин чыгарылышын (2-таблица) кезеги менен текшергиле. Таблицаалардын «Өз алдынча даярданганда. Баасы» графасына жообуңар туура болсо 1, ката болсо 0 балл коюп, толтургула.

4. Терезенин сол тарабындагы моделди пайдаланып, кезеги менен ар бир суроонун жана маселенин шартындагы процесс так аткарылгандай кылып виртуалдык эксперимент жүргүзгүлө. Процесссти моделдештирүү жана башкаруу үчүн «Старт/стоп» кнопкасын, тиешелүү параметрлердин сан маанилерин пайдалангыла. Ар бир эксперименттин натыйжасын таблицалардын «Виртуалдык экспериментте. Жообу» графасына, ал эми текшерүүнүн натыйжасын «Баасы» графасына (1 же 0) жазгыла.

5. Суроолор жана маселелер боюнча орточо жана жалпы бааңарды эсептеп, тиешелүү графаларды толтургула.

6. Жооптордун ката болуп калышынын себептерин талдагыла.

7. Түрдүү $V_3 > V_2 > V_1$ көлөмдөрү үчүн изохораларды моделдештиргиле, алардын натыйжаларын 3-таблицага, ал эми графиктерин (P, V) -, (P, T) - жана (V, T) -тегиздиктерине түшүргүлө.

8. Компьютердик моделди, 3-таблицаны жана жогорудагы графиктерди пайдаланып, кандай изохоралык процесстерде газ эң көп жумуш аткара аларын, андан эң көп жылуулук бөлүнүп чыгарын жана ички энергиясы эң көп өзгөрүлөрүн аныктагыла. Жообуңарды МКТга таянып негиздегиле жана кыскача тыянак түрүндө жазгыла.

1. Суроолор

1-таблица

Суроо	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Жалпы баасы:					

2. Маселелер

2-таблица

Маселе	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
Жалпы баасы:					

3. Кошумча тапшырмалар

3-таблица

Көлөм, дм^3	Баштапкы		Акыркы		$Q, \text{Дж}$	$A, \text{Дж}$	$\Delta U, \text{Дж}$
	$P_1, \text{кПа}$	$T_1, \text{К}$	$P_2, \text{кПа}$	$T_2, \text{К}$			
$V_1 =$							
$V_2 =$							
$V_3 =$							

4. Графиктер:

5. Тыянактар:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Изохоралык процесс деп кандай процессти айтабыз? Идеалдуу газдын абалын изохоралык шартта өзгөртүү үчүн кандай аракеттерди жасоо керек?
2. Шарльдын законун идеалдуу газдын абалынын теңдемесинен келтирип чыгарууга болорун көрсөткүлө жана аны МКТ боюнча түшүндүргүлө.
3. Өтө төмөнкү температураларда жана жогорку басымдарда Шарльдын закону аткарылабы? Эмне үчүн?
4. Изохоралык процесстин (P,T)-тегиздигиндеги графигинде эмне себептен чоң көлөмгө тиешелүү изохоралар кичине көлөмгө тиешелүү изохоралардан төмөн (температура огуна жакыныраак) жатарын түшүндүргүлө.
5. $P = \frac{P_0}{T_0} T = P_0 \alpha T$ барабардыгындагы α - басымдын температуралык коэффициентинин физикалык маанисин түшүндүргүлө.
6. Изохоралык процесс үчүн термодинамиканын I закону кандай көрүнүштө жазылат? Эмне үчүн?
7. Газды изохоралык ысытууда жана муздатууда анын ички энергиясы кандай өзгөрөт? Эмне үчүн?

3.3. ИЗОБАРАЛЫК ПРОЦЕССТИ ОКУП ҮЙРӨНҮҮ $(P = const)$

Иштин максаты:

- Идеалдуу газдагы изобаралык процессти сүрөттөөчү динамикалуу компьютердик модель менен таанышуу.
- Изобаралык процесстин закон ченемдүүлүктөрүн эксперименталдык тастыктоо.
- Термодинамиканын 1-законунун изобара процессинде колдонулушун виртуалдык эксперименттин жардамында окуп үйрөнүү.

Иштин жабдылышы: Пентиум-4 компьютери, «Открытая физика 2.5», 1-бөлүк – компьютердик окутуучу программасы.

Иштин кыскача теориясы

Басым турактуу кезинде газдын температурасынын жана көлөмүнүн өзгөрүүсү менен коштолуучу квазистатикалык процесс

изобаралык процесс деп аталат. Бул процессте $P = const$ болгондуктан идеалдуу газдын абалынын $PV = RT$ теңдемесинен

$$\frac{V}{T} = const \quad \text{же} \quad V = V_0 \alpha T \quad \text{га} \quad (3.3.1)$$

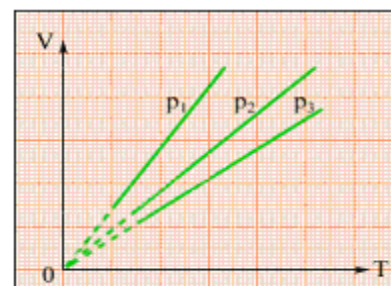
ээ болобуз, мында V_0 - газдын 0°C дагы көлөмү, $\alpha = \left(\frac{1}{273,15}\right)K^{-1}$ - газдын көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициентини деп аталат.

Демек, (3.3.1) ден көрүнүп тургандай, изобаралык процесс кезинде газдын берилген массасынын температурасы өзгөртүлсө, анын көлөмү да өзгөрөт, бирок көлөмдүн абсолюттук температурага болгон катышы турактуу бойдон калат. Газдын абсолюттук температурасы канча эсе жогоруласа, анын көлөмү да ошончо эсеге чоңоет жана тескерисинче.

45-сүрөттө басымдын түрдүү маанилериндеги изобаралык процесстердин (V, T) тегиздигиндеги графиктери көрсөтүлгөн. Алар түз сызык көрүнүшүндө болушат жана *изобаралар* деп аталышат.

Басым өзгөрбөгөн учурда газдын көлөмүнүн температурадан көз карандылыгын алгачкы жолу француз физиги Ж.Гей-Люссак изилдеген жана тажрыйба жүзүндө жогорку (3.3.1) законду 1862-жылы ачкан. Ошондуктан ал *Гей-Люссактын закону* деп аталат.

Бул законду МКТ боюнча төмөнкүдөй түшүндүрөбүз: газдын температурасы, мисалы, жогорулатылса, анын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоңоет, бул учурда басым өзгөрбөй турактуу калсын үчүн, газдын көлөмүн чоңойтуп, молекулаларынын концентрациясын (көлөм бирдигиндеги молекулалардын санын) азайтуу зарыл. Эгерде газдын температурасы төмөндөтүлгөн болсо, анда жогорудагыга тескери аракет жасоо керек.



45-сүрөт
(V, T) тегиздигиндеги изобаралар:
 $P_3 > P_2 > P_1$

Басымы турактуу сакталган системанын көлөмү да, температурасы да өзгөргөндүктөн, бул процессте термодинамикалык жумуш аткарылат, системанын ички энергиясы да өзгөрөт. Газды изобаралык шартта ысытканда (газга δQ жылуулук санын бергенде), ал кеңейип, сырткы күчтөргө каршы аткарган жумушу: $\delta A = PdV$

Демек, газды изобаралык шартта ысытканда ага берилген жылуулук санынын бир бөлүгү анын ички энергиясын арттырууга, ал эми калган бөлүгү ал кеңейип, сырткы күчтөргө каршы жумуш аткарууга сарпталат. Ошондуктан термодинамиканын 1-закону бул процесс үчүн

$$\delta Q = dU + \delta A = dU + PdV \quad (3.3.2)$$

көрүнүшүндө жазылат.

Лабораториялык иштин суроолору

1. Изобара процессинин жүрүшүндө идеалдуу газдын көлөмү жана анын абсолюттук температурасы 2 эсе артса, анын басымы кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 2 эсе кичирейет / 2 эсе чоңоет / 4 эсе кичирейет / 4 эсе чоңоет)

2. Изобара процессинде идеалдуу газдын көлөмү 3 эсе кичирейсе, анын температурасы кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 3 эсе төмөндөйт / 3 эсе жогорулайт / 1-3 жооптордун арасында туурасы жок)

3. Изобара процессинде идеалдуу газдын көлөмү алгач 4 эсе чоңоюп, анан кийин 2 эсе кичирейсе, анын абсолюттук температурасы баштапкы маанисине салыштырганда кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 2 эсе төмөндөйт / 2 эсе жогорулайт / 4 эсе төмөндөйт / 4 эсе жогорулайт /)

4. Идеалдуу газ 100°C ден 400°C ге чейин изобаралык ысытылса, анын көлөмү кандай өзгөрөт?

(Жообу: өзгөрбөйт / 4 эсе кичирейет / 4 эсе чоңоет / 1-3 жооптордун арасында туурасы жок)

Лабораториялык иштин маселелери

1. Көлөмү $32,2\text{дм}^3$ баллондогу бир моль идеалдуу газдын температурасы 310К . Газдын басымын аныктагыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $P =$ кПа)

2. Изобаралык процесстин жүрүшүндө идеалдуу газдын көлөмү 2 эсе чоңоет. Эгерде газдын баштапкы температурасы -71°C болсо, анда анын акыркы температурасын тапкыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $T =$ К)

3. Газды изобаралык ысытууда анын көлөмү 2 эсе чоңоет. Эгерде газдын баштапкы температурасы 27°C болсо, анда ал канча градуска ысытылган? Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $\Delta T = \quad \text{K}$)

4. Температурасы 600K бир моль идеалдуу газдын көлөмү $41,6\text{дм}^3$ дан $25,6\text{дм}^3$ га чейин кичирейсин үчүн, газды канча градуска изобаралык түрдө муздатуу керек? Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле. Жоопту бүтүн санга чейин тегеректегиле.

(Жообу: $|\Delta T| = \quad \text{K}$)

5. Изобаралык процесстин жүрүшүндө газдын көлөмү 4 эсе чоңоюп, ал эми температурасы 300K ге өзгөргөн. Газдын акыркы температурасын тапкыла. Компьютердик экспериментти жүргүзгүлө жана жообуңарды текшергиле.

(Жообу: $T = \quad \text{K}$)

Ишти аткаруунун тартиби

1. Теориялык материал менен таанышып чыккандан кийин бул лабораториялык ишке тиешелүү суроолордун туура жоопторун тандап, 1-таблицанын жана, маселелерди чыгарып, 2-таблицанын «*Өз алдынча даярданганда. Жообу*» графаларын толтургула.

2. Виртуалдык лабораториялык ишти аткарууга даярдагыла. Ал үчүн «**Открытая физика. 2.5**», (часть 1) компьютердик окутуучу программасынан «**Лабораторная работа 3.3. Изобарный процесс**» темасын ачкыла. Экранда төмөнкү картина пайда болот. Сүрөттү көңүл коюп карап, бардык жөнгө салгычтарды ж.б. негизги элементтерди тапкыла.

Лабораторная работа 3.3. Изобарный процесс - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Назад Поиск Избранное

Адрес: C:\Program Files\Physicon\Open Physics 2.5 part 1\design\index.htm

СОДЕРЖАНИЕ МОДЕЛИ ПОИСК СПРАВОЧНИК О ПРОГРАММЕ ОТКРЫТЫЙ КОЛЛЕДЖ

Глава 3. Молекулярная физика и термодинамика

Лабораторная работа 3.3. Изобарный процесс

Вопрос №1

В ходе изобарного процесса объем идеального газа и его температура увеличились в 2 раза. Как изменилось давление газа?

Не изменилось
 Уменьшилось в 2 раза
 Увеличилось в 2 раза
 Уменьшилось в 4 раза
 Увеличилось в 4 раза

ПРОВЕРИТЬ

Вопросы для лабораторных работ
 1 2 3 4
 Задачи для лабораторных работ
 1 2 3 4 5

Мында газдагы изобаралык процесс, б.а. идеалдуу газды, анын басымын турактуу сактап ($P = const$), квазистатикалык кысуу же кеңейтүү процесси моделдештирилген. Газдын басымын, аны жөнгө салуучу кнопканын өйдө же төмөн караган жебелерин басуу менен белгилүү чекте өзгөртүп, тандап алууга болот. Виртуалдык эксперименттин жүрүшүндө (“старт” кнопкасы басылгандан баштап) экранда тандалып алынган шарттардагы изобара процессинде газдын абалынын үзгүлтүксүз өзгөрүшүн чагылдырган $V(T)$ көз карандылыгынын графиги чийиле баштайт жана процессте газга берилген жылуулук санын, аткарылган жумушту, газдын ички энергиясынын өзгөрүшүн өз ара салыштырган динамикалык энергетикалык диаграмма көрсөтүлөт. Атайын терезеде процесстин түрдүү моменттериндеги, б.а. изобара сызыгын бойлото жылып жүргөн кызыл чекиттин абалына туура келген газдын көлөмүнүн жана температурасынын сан маанилери чагылдырылып барат. Энергетикалык диаграмманын шкаласынын бир бөлүгүн 10 Дж га барабар деп алгыла.

Энергетикалык диаграмманы пайдаланып, изобаралык кеңейтүүдө идеалдуу газдын температурасы жогорулагандыктан, анын ички энергиясы да жогоруларына жана газ жумуш аткарына, ал эми изобаралык кысууда анын температурасы жана ички энергиясы азайып, газ аткарган жумуш терс болоруна көңүл бургула. Анткени, газды изобаралык шартта кеңейтүү үчүн ага жылуулук берүү зарыл, ал эми кысуу учурунда андан сыртка жылуулук берилет.

3. Программаны пайдаланып лабораториялык иштин суроолоруна жоопторду (1-таблица) жана маселелердин чыгарылышын (2-таблица) кезеги менен текшергиле. Таблицалардын «Өз алдынча даярданганда».

Баасы» графасына жообуңар туура болсо 1, ката болсо 0 балл коюп, толтургула.

4. Терезенин сол тарабындагы моделди пайдаланып, кезеги менен ар бир суроонун жана маселенин шартындагы процесс так аткарылгандай кылып виртуалдык эксперимент жүргүзгүлө. Процесссти моделдештирүү жана башкаруу үчүн «*Старт/стоп*» кнопкасын, тиешелүү параметрлердин сан маанилерин пайдалангыла. Ар бир эксперименттин натыйжасын таблицалардын «*Виртуалдык экспериментте. Жообу*» графасына, ал эми текшерүүнүн натыйжасын «*Баасы*» графасына (1 же 0) жазгыла.

5. Суроолор жана маселелер боюнча орточо жана жалпы бааңарды эсептеп, тиешелүү графаларды толтургула.

6. Жооптордун ката болуп калышынын себептерин талдагыла.

7. Түрдүү $P_3 > P_2 > P_1$ басымдары үчүн изобараларды моделдештиргиле, алардын натыйжаларын 3-таблицага, ал эми графиктерин (P, V) -, (P, T) - жана (V, T) -тегиздиктерине түшүргүлө.

8. Компьютердик моделди, 3-таблицаны жана жогорудагы графиктерди пайдаланып, кандай изобаралык процесстерде газ эң көп жумуш аткара аларын, андан эң көп жылуулук бөлүнүп чыгарын жана ички энергиясы эң көп өзгөрүүлөрүн аныктагыла. Жообуңарды МКТга таянып негиздегиле жана кыскача тыянак түрүндө жазгыла.

1. Суроолор

1-таблица

Суроо	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
Жалпы баасы:					

2. Маселелер

2-таблица

Маселе	Өз алдынча даярданганда		Виртуалдык экспериментте		Орточо баа
	жообу	баасы	жообу	баасы	
1					
2					
3					
4					
5					
Жалпы баасы:					

3. Кошумча тапшырмалар

3-таблица

Басым, кПа	Баштапкы		Акыркы		Q, Дж	A, Дж	ΔU , Дж
	$V_1, \text{дм}^3$	$T_1, \text{К}$	$V_2, \text{дм}^3$	$T_2, \text{К}$			
$P_1 =$							
$P_2 =$							
$P_3 =$							

4. Графиктер:

5. Тыянактар:

Билимди текшерүү үчүн суроолор

1. Изобаралык процесс деп кандай процессти айтабыз? Бул процессти ишке ашыруу үчүн кандай шарттарды камсыз кылуу керек?
2. Идеалдуу газдын абалынын теңдемесинен Гей-Люссактын законун келтирип чыгарууга болорун көрсөткүлө жана аны МКТ боюнча түшүндүргүлө.
3. Изобаралык процесстин графиги кандай болот? Эмне себептен (V,T)-тегиздигиндеги графикте чоң басымга тиешелүү изобаралар кичине басымга тиешелүү изобаралардан төмөн, температура огуна жакыныраак, жайгашарын түшүндүргүлө.
4. α - газдын көлөмдүк кеңейүү коэффициентинин физикалык маанисин түшүндүргүлө.

5. Изобаралык процесс үчүн термодинамиканын 1-закону кандай көрүнүштө жазылат? Эмне үчүн?
6. Изобара процессинде газдын жана сырткы күчтөрдүн аткаруучу жумуштарын өз ара салыштырып, алардын жалпы жана айырмаланган жактарын белгилегиле.
7. Изобаралык кысууда газ жылуулук санын алабы же сыртка береби, ал эмнеге барабар? Бул учурда газдын ички энергиясы кандай өзгөрөт?

1. Аллахунов Б. Молекулярдык физикадан практикум. Ош, 1997
2. Гершензон Е.М., Малов Н.Н. и.д. Курс общей физики. Молекулярная физика. -М.: Просвещение, 1982
3. Детлаф А.А. ж. б. Курс физики. Механика. Основы молекулярной физики и термодинамики. -М.: Высшая школа, 1973
4. Енохович А.С. Справочник по физике. -М.: Просвещение, 1990
5. Зайдель А.Н. Ошибки измерения физических величин. – Ленинград: Наука, 1974
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.1., Механика, Молекулярная физика, Колебания и волны. – М.: Наука, 1974
7. Жуманова М.М. Физика боюнча маселелер жана аларды чыгаруу: Молекулалык физика жана термодинамика. –Ош: 1999
8. Иманкулов А. Молекулярдык физика. «Мектеп» басмасы, Фрунзе: 1968.
9. Кидибаев М. Шаршеев К. Жалпы физика курсу. Молекулалык физика. II том. - Бишкек, «Илим», 2004
10. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1976
11. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. - М.: Высшая школа, 1981
12. Савельев И.В. Курс физики. Т.1. Механика, Молекулярная физика, – М.: Наука, 1989
13. Сивухин Д.В. Общий курс физики Т.2. Термодинамика и молекулярная физика, -М.: Просвещение, 1976
14. Черненко В.П. Лабораторные работы по молекулярной физике и термодинамике. Методическое пособие. -Ош, 1989
15. Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. –М.: Просвещение, 1976.
16. Молекулярная физика на компьютере. Версия 1.04. НТО «Физикон», М., 1992
17. «Открытая физика 2.5, ч.1 ». Компьютерная обучающая программа. ООО «Физикон», М., 2002
18. Молекулярная физика. Самоучитель по физике на CD-ROM. Teach Pro Физика. М., 2001
19. Тихомиров Ю.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу физики. ООО «Физикон», М., 2002-2003

Т.1 Температуралык шкалалар

Термометрдик заттан көз каранды болбогон температуралык шкала *термодинамикалык температуралык шкала* деген атка ээ болгон (кээде аны «*термодинамиканын абсолюттук шкаласы*» же «*Кельвин шкаласы*» деп аташат). Бул шкала XIX кылымдын орто чендеринде англиялык физик У. Томсон (Кельвин) тарабынан сунуш кылынган. Температуранын термодинамикалык шкаласы бир репердик (таяныч) чекитке - суунун катуу, суюк жана газ түрүндөгү фазаларынын өз ара тең салмактуулук чекитине негизделет. Термодинамикалык температура T символу менен белгиленет; термодинамикалык температуранын бирдиги болуп *кельвин* (K) эсептелет. Суунун үчтүк чекити үчүн $273,16K$ температурасы кабыл алынган. Кельвин - суунун үчтүк чекитинин термодинамикалык температурасынын $\frac{1}{273,16}$ бөлүгү.

Термодинамикалык температура Цельсийдин градустары аркылуу да туюнтулушу мүмкүн. Бул учурда аны t символу менен белгилеп $t = T - T_0$ туюнтмасы аркылуу аныкташат, мында $T_0 = 273,15K$.

Цельсий температурасынын бирдиги - *Цельсий градусу* ($^{\circ}C$), ал кельвинге барабар.

Термодинамикалык температуралык шкаланы түзүп колдонуу өтө чоң эксперименталдык кыйынчылыктарды жаратат. Ошондуктан термодинамикалык шкаланын практикалык колдонулуштары үчүн илимде, техникада жана күндөлүк турмушта 1968-жылы кабыл алынган Эл аралык практикалык температуралык шкаланы (МПТШ-68) кеңири пайдаланышат. МПТШ-68де Эл аралык практикалык Кельвиндин температурасын (T_{68}) жана Эл аралык практикалык Цельсийдин температурасын (t_{68}) айырмалашат. Бул температуралар өз ара $t_{68} = T_{68} - 273,15K$ формуласы аркылуу байланышат.

T_{68} жана t_{68} дин бирдиктери болуп, T жана t нын бирдиктери сыяктуу эле, тиешелүү түрдө *Кельвин* жана *Цельсий градусу* эсептелишет. 68 индекстери Эл аралык практикалык температураны термодинамикалык температурадан айырмалоо зарыл болгон учурларда гана коюлат.

Мына ошентип, МПТШда туюнтулган температураларды t аркылуу белгилеп $^{\circ}C$ менен коштошот же T аркылуу белгилеп K менен коштошот. Термодинамикалык шкаланын практикалык көрүнүшү болгон МПТШ бирдиктердин Эл аралык системасынын (СИ) бөлүгүн түзөт, ал эми МПТШ градусу СИ системасынын жети негизги

бирдиктеринин бири - Кельвиндин практикалык көрүнүшү болот. Кадимки термометрлерде Эл аралык практикалык температуралык шкала колдонулат.

МПТШ-68 бир нече так алынуучу температуралардын - бир катар таза заттардын фазаларынын тең салмактуулук абалдарына туура келген биринчи жана экинчи репердик чекиттердин маанилерине негизделген. МПТШ -68 деги айрым биринчи жана экинчи репердик чекиттердин маанилери (Т.3)-жана (Т.4)-таблицааларда келтирилди.

1968-жылы кабыл алынган Эл аралык практикалык температуралык шкала - термодинамикалык шкалага эң жакын, өлчөө техникасынын бүгүнкү деңгээлинде жетишүүгө мүмкүн болгон, жеңил жана так тургузулуучу практикалык шкала болуп эсептелет.

Мындан башка температуралык шкалалар дагы белгилүү. Немец физиги Д.Фаренгейт 1715-жылы сымап термометрин жасап, анын термометрдик шкаласын түзүү үчүн 0° катары кар менен нашатырдын аралашмасынын температурасын, ал эми 96° үчүн адам денесинин нормалдуу температурасын кабыл алууну сунуш кылган. Фаренгейттин шкаласынын градусу $^{\circ}F$ деп белгиленет, ал муздун эрүү чекити менен суунун кайноо чекитинин арасындагы температуралык интервалдын $\frac{1}{180}$ бөлүгүнө барабар. Бул шкала боюнча $0^{\circ}C = 32^{\circ}F$, $100^{\circ}C = 212^{\circ}F$. Фаренгейттин шкаласы АКШда жана башка айрым өлкөлөрдө бүгүнкү күндө да колдонулууда.

Температураны Фаренгейттин шкаласынан Цельсийдин шкаласына өткөрүү $t = \frac{5}{9} (t - 32)$ теңдемесинин жардамында жүргүзүлөт, мында t жана $^{\circ}F$ - тиешелүү түрдө Цельсийдин жана Фаренгейттин шкалалары боюнча температуралар.

Шотландиялык физик жана инженер У. Ранкин (1820-1872) градусунун чондугу Фаренгейттин градусуна барабар, бирок эсептөө температуранын абсолюттук нөлүнөн башталган температуралык шкаланы сунуш кылган. Ранкиндин шкаласынын төмөнкү чеги – абсолюттук нөл ($0^{\circ} Ra$), муздун эрүү температурасы $491,67^{\circ} Ra$, ал эми суунун кайноо температурасы $671,67^{\circ} Ra$ ге барабар.

Т.2 1968-жылы кабыл алынган Эл аралык практикалык температуралык шкаланын (МПТШ-68) таяныч (турактуу) чекиттери

1968-жылы кабыл алынган Эл аралык практикалык температуралык шкала бир нече негизги, жакшы кайталануучу репердик (таяныч) чекиттерге ыйгарылган температуралардын маанилерине негизделет. Бул чекиттерди лабораториялык шарттарда, таза заттын фазаларынын тең салмактуулугун камсыз кылуу менен, эталондук приборлордун жардамында аныкташат.

Мындан сырткары, температуралык шкаланын айрым бөлүктөрүн практикада алуу үчүн бир катар экинчилик (кошумча) репердик температуралык чекиттер аныкталган. Бул экинчилик репердик чекиттер да өтө тыкан лабораториялык өлчөөлөрдүн негизинде аныкталган. МПТШ-68 шкаласынын экинчилик репердик температуралык чекиттери да, негизги чекиттер сыяктуу эле, бир катар таза заттардын эки же үч фазасынын тең салмактуулугунун температуралары болуп саналышат.

Негизги жана экинчилик репердик чекиттердин температураларынын ыйгарылган маанилери (суунун үчтүк чекитинен башкалары) нормалдык атмосфералык басымда (*101325 Па*) туура болот.

Т.3 Эл аралык температуралык шкаланын негизги турактуу чекиттери

Тең салмактуулук абалы	Эл аралык практикалык температуранын ыйгарылган маанилери	
	К	°С
• Суутектин суюк жана буу түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (суутектин кайноо чекити)	20,28	-252,87
• Неондун суюк жана буу түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (неондун кайноо чекити)	27,102	-246,048
• Кычкылтектин суюк жана буу түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (кычкылтектин кайноо чекити)	90,188	-182,062
• Суунун катуу, суюк жана буу фазаларынын тең салмактуулугу (суунун үчтүк чекити *)	273,16	0,01
• Суунун суюк жана буу фазаларынын тең салмактуулугу (суунун кайноо чекити*)	373,15	100
• Цинктин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (цинктин катуулануу чекити)	692,73	419,58
• Күмүштүн катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (күмүштүн катуулануу чекити)	1235,08	961,93
• Алтындын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (алтындын катуулануу чекити)	1337,58	1064,43
• Калайдын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (калайдын катуулануу чекити)	505,1181	231,9681

* - Колдонулуучу суу океандардагы суунун изотоптук курамына ээ болушу керек.

Т.4 Эл аралык практикалык температуралык шкаланын кошумча репердик чекиттери

Тең салмактуулук абалы	Эл аралык практикалык температуранын ыйгарылган маанилери	
	К	°С
• Азоттун суюк жана буу түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (азоттун кайноо чекити)	77,348	-195,802
• Сымаптын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (сымаптын катуулануу чекити)	234,288	-38,562
• Индийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (индийдин катуулануу чекити)	429,784	156,634
• Висмуттун катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (висмуттун катуулануу чекити)	544,592	271,442
• Кадмийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (кадмийдин катуулануу чекити)	594,258	321,108
• Коргошундун катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (коргошундун катуулануу чекити)	600,652	327,502
• Сымаптын суюк жана буу түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (сымаптын кайноо чекити)	629,81	356,66
• Күкүрттүн суюк жана газ түрүндөгү фазаларынын тең салмактуулугу (күкүрттүн кайноо чекити)	717,824	444,674
• Сурманын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (сурманын катуулануу чекити)	903,89	630,74
• Алюминийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (алюминийдин катуулануу чекити)	933,607	660,457
• Жездин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (жездин катуулануу чекити)	1358,03	1084,88
• Никелдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (никелдин катуулануу чекити)	1728	1455
• Кобальттын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (кобальттын катуулануу чекити)	1767	1494
• Палладийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (палладийдин катуулануу чекити)	1827	1554
• Платинанын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (платинанын катуулануу чекити)	2042	1769
• Родийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (родийдин катуулануу чекити)	2236	1963
• Иридийдин катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (иридийдин катуулануу чекити)	2720	2447
• Вольфрамдын катуу жана суюк фазаларынын тең салмактуулугу (вольфрамдын катуулануу чекити)	3694	3421

Т.5 Физикалык турактуулар

Аталышы	Белгиле-ниши	Сандык мааниси	СИ де	СГС системасында
Авогадро саны	N_A	6,0221367	10^{23} моль ⁻¹	10^{23} моль ⁻¹
Массанын атомдук бирдиги	м.а.б.	1,6605402	10^{-27} кг	10^{-24} г
Универсалдуу газ турактуусу	R	8,314510	Дж моль ⁻¹ К ⁻¹	10^7 эрг моль ⁻¹ К ⁻¹
Больцман турактуусу	k	1,380658	10^{-23} Дж К ⁻¹	10^{-16} эрг К ⁻¹
Лошмидт саны	N_L, n	2,68676	10^{25} м ⁻³	10^{19} см ⁻³
Планк турактуусу	h	6,6260755	10^{-34} Дж с	10^{-27} эрг с
Суунун максималдык тыгыздыгы (t=3,98 ⁰ С жана P=101325 Па)	ρ	999,973	кг м ⁻³	10^{-3} г см ⁻³
Нормалдуу атмосфералык басым	$P_{атм}$	101325	Па	10 дин см ⁻²
Нормалдуу шарттарда абадагы үндүн ылдамдыгы	ν	331,46	м с ⁻¹	10^2 см с ⁻¹
Нормалдуу шарттарда кургак абанын тыгыздыгы	$\rho_{аба}$	1,293	кг м ⁻³	10^{-3} г см ⁻³
Нормалдуу шарттарда идеалдуу газдын молдук көлөмү	V_μ	22,41410	10^{-3} м ³ моль ⁻¹	10^3 см ³ моль ⁻¹

Т.6 Заттардын тыгыздыгы

Газдар, буулар ($t=0^{\circ}\text{C}$, $P=101325\text{Па}$)	$\rho_{\text{кг}}/\text{м}^3$	Суюктуктар, эритмелер ($t=20^{\circ}\text{C}$)	$\rho_{\text{кг}}/\text{м}^3$	Катуу заттар, куймалар ($t=20^{\circ}\text{C}$)	$\rho_{\text{кг}}/\text{м}^3$	
Азот	1,2505	Ацетон	790	Муз	880-920	
Суутек	0,08988	Бензин авто	710-720	Болот	7600-7900	
Кычкылтек	1,42895	Суу	($t=0^{\circ}\text{C}$)	999,841	Алюминий	2698,9
			($t=4^{\circ}\text{C}$)	999,973		
			($t=20^{\circ}\text{C}$)	998,203		
Кургак аба	1,2928	Глицерин	1260	Темир	7874	
Каныккан суу буусу, $t=100^{\circ}\text{C}$	0,589	Керосин	790-820	Жез	8960	
CO_2	1,9769	Сымап	13545,7	Калай	7298	
Метан	0,7168	Этил спирти	789,4	Платина	21450	
Пропан	2,02	Этил эфири	714	Коргошун	11350	
Этил спирти	2,043	Май (транс)	840-890	Алтын	19320	
Хлороформ	5,639	Май (пахта)	921	Күмүш	10500	
				Аш тузу	2160	
				Латунь	8450-8700	
				Эбонит	1100-1200	

Т.7 Жердин бетинен түрдүү (h) бийиктиктердеги (стандарттык) атмосферанын басымы (P)

h, м	P	
	Па	мм. сым. мам.
0	101325	760,00
50	100720	755,51
100	100129	751,03
150	99536	746,58
200	98945	742,15
300	97773	733,36
400	96611	724,64
500	95461	716,02
600	94322	707,48
700	93194	699,02
800	92077	690,64
900	90972	682,34
1000	89876	674,13
2000	79501	596,31
3000	70121	525,95
4000	61660	462,49
5000	54048	405,39

Т.8 Жердин атмосферасынын химиялык курамы

Атмосфера газдардын аралашмасынан, негизинен азоттон жана кычкылтектен турат. Жогору багытталган циркуляциялык агымдардын жана шамалдын абаны тынымсыз аралаштырып тургандыктарынан болжол менен 80-100км бийиктиктерге чейин атмосферанын курамы дээрлик өзгөрбөйт. Таблицада кургак абанын курамына кирген компоненттердин массалык үлүшү келтирилди.

Газ	Газдын көлөмдүк үлүшү %	Газдын массалык үлүшү %	Газ	Газдын көлөмдүк үлүшү %	Газдын массалык үлүшү %
Азот	78,09	75,53	Криптон	0,0001	0,0029
Кычкылтек	20,95	23,14	Ксенон	0,000008	0,00004
Аргон	0,93	1,28	Суутек	0,00005	0,000003
Көмүртек оксиди (IV)	0,03	0,045	Азоттун оксиди (I)	0,00005	0,000008
Неон	0,0018	0,0012	Озон	0,00004	0,00007
Гелий	0,00053	0,000073	Метан	0,00015	0,000084

Эскертүү: Атмосферада (сезонго, климатка жана аба-ырайына жараша) массасы $1,3 \cdot 10^{13}$ - $1,5 \cdot 10^{13}$ т же көлөмдүк үлүшү 0,1-2,8% болгон суу буулары болот.

**Т.9 Газдардын молекулаларынын кыймылынын
ылдамдыктары
($P=101325 \text{ Па}$)**

Газ	$v_{\text{б}}, \text{ м/с}$ 0°C	$\overline{v_a}, \text{ м/с}$				$\overline{v_{\text{кб}}}, \text{ м/с}$ 0°C
		0°C	15°C	20°C	25°C	
Азот	398	454	467	471	474	492
Аммиак	517	583	597	604	609	632
Аргон	338	381	391	395	398	414
Суутек	1487	1693	1740	1755	1770	1838
Суу буусу	502	566	582	587	592	613
Аба	394	447	459	463	467	485
Гелий	1064	1201	1230	1252	1256	1310
Кычкылтек	377	425	437	440	444	461
Криптон	233	263	271	272	275	285
Ксенон	195	210	216	218	219	228
Метан	536	601	613	619	627	651
Неон	474	535	550	557	559	580
Көмүртек оксиди (II)	402	454	463	471	475	492
Көмүртек оксиди (IV)	318	362	372	376	379	392
Сымап буулары	151	170	174	176	177	184

**Т.10 Газдын молекулаларынын түрдүү басымдардагы
концентрациясы ($t=27^{\circ}\text{C}$)**

$P, \text{ Па (мм. сым. мам.)}$	$n, \text{ см}^{-3}$	$P, \text{ Па (мм. сым. мам.)}$	$n, \text{ см}^{-3}$
100000 (750)	$2,43 \cdot 10^{19}$	$10^{-7} (10^{-9})$	$3,24 \cdot 10^7$
133 (1)	$3,24 \cdot 10^{16}$	$10^{-10} (10^{-12})$	$3,24 \cdot 10^4$
0,133 (0,001)	$3,24 \cdot 10^{13}$	$10^{-14} (10^{-16})$	бир нече ондук
$10^{-4} (10^{-6})$	$3,24 \cdot 10^{10}$		

Т.11 Атомдордун жана молекулалардын массалары

Таблицада айрым атом жана молекулалардын массаларынын m_a тегеректелген маанилери келтирилген.

Атомдор	m_a 10^{-27} кг	Молекулалар	m_a 10^{-27} кг
Азот	23,2	Азот N ₂	46,5
Алюминий	44,8	Аммиак NH ₃	28,3
Суутек	1,67	Суу H ₂ O	29,9
Гелий	6,64	Суутек H ₂	3,3
Темир	92,8	Аба	48,1
Алтын	327	Натрий гидроксиди NaOH	66,4
Кычкылтек	26,6	Цинк карбонаты ZnCO ₃	208
Кремний	46,6	Кычкылтек O ₂	53,2
Жез	105	Метан CH ₄	26,6
Натрий	38,1	Күмүш нитраты AgNO ₃	282
Сымап	333	Озон O ₃	80
Коргошун	344	Алюминий оксиди Al ₂ O ₃	169
Күкүрт	53,2	Сымап оксиди (II) HgO	360
Күмүш	179	Көмүртек оксиди (II) CO	46,5
Көмүртек	19,9	Көмүртек оксиди (IV) CO ₂	73
Уран	395	Уран оксиди UO ₂	448
Фтор	31,5	Жез сульфаты CuSO ₄	265
Хлор	58,9	Коргошун сульфаты PbSO ₄	503
Цинк	109	Натрий хлориди NaCl	97

Т.12 Газдын молекулаларынын диаметрлери

Таблицада айрым газдардын молекулаларынын диаметринин (d) түрдүү методдордун жардамында эсептелген орточо маанилери келтирилген: d_{μ} - илешимдүүлүктүн теңдемелеринен, d_v -Ван-дер-Ваальстын теңдемесинен, $d_{ж}$ жана d_{δ} -жылуулук өткөрүмдүүлүктүн жана диффузиянын теңдемелеринен, ошондой эле заттын конденсирленген- катуу же суюк -абалындагы тыгыздыктарынан $d_{к.с}$ (бул абалдарда молекулалар дээрлик бири-бирине тийишкендей тыгыз жайгашышат)

Газ	d_{μ} , нм	d_v , нм	$d_{ж}$, нм	d_{δ} , нм	$d_{к.с}$, нм
Азот	0,370	0,315	0,353	0,369	-
Аммиак	0,443	0,297	0,308	-	-
Аргон	0,367	0,294	0,286	0,382	0,415
Суутек	0,275	0,276	0,232	0,268	0,419
Суу буусу	0,468	0,289	-	-	0,348
Аба	0,374	-	-	-	-
Гелий	0,218	0,266	0,230	-	0,421
Кычкылтек	0,364	0,293	0,351	0,355	0,373
Неон	0,260	0,267	0,267	0,305	0,340
Көмүртек оксиди (IV)	0,465	0,340	0,340	-	-

Т.13 Абадагы же суудагы айрым бөлүкчөлөрдүн өлчөмдөрү (диаметрлери)

Бөлүкчө	d , мкм
Иондор	0,0001-0,005
Ыштын бөлүкчөлөрү	0,01-0,1
Вирустар	0,01-0,5
Тамеки түтүнү	0,01-1
Атмосфералык чаң	0,005-10
Бактериялар	0,1-100
Көмүр чаңы	1-100
Эң чоң микро клеткалар	10

**Т.14 Айрым газдардын салыштырма молекулалык (молдук)
массасы μ_c**

Газ	μ_{cc}	Газ	μ_c
Азот N ₂	28,013	Озон O ₃	47,998
Аммиак NH ₃	17,03	Азот оксиди (I) N ₂ O	44,01
Аргон Ar	39,948	Азот оксиди (II) NO	30,01
Ацетилен C ₂ H ₃	26,04	Күкүрт оксиди (IV) SO ₂	64,06
Суутек H ₂	2,0159	Көмүртек оксиди (II) CO	28,01
Аба	28,96	Көмүртек оксиди (IV) CO ₂	44,01
Гелий He	4,0026	Пропан C ₃ H ₈	44,10
Кычкылтек O ₂	31,999	Күкүртүү суутек H ₂ S	34,08
Криптон Kr	83,80	Фтор F ₂	37,997
Ксенон Xe	131,30	Хлор Cl ₂	70,906
Метан CH ₄	16,04	Этан C ₂ H ₂	30,07
Неон Ne	20,183	Этилен C ₂ H ₄	28,05

**Т.15 Айрым эки атомдуу молекулалардагы атомдордун
(ядролордун) ортосундагы аралыктар r_0**

Молекула	r_0 , нм	Молекула	r_0 , нм
Азот N ₂	0,109	Кычкылтек O ₂	0,121
Азот оксиди (IV) NO	0,115	Литий Li ₂	0,267
Бор B ₂	0,159	Натрий Na ₂	0,308
Бром Br ₂	0,214	Сымап Hg ₂	0,330
Бромдуу суутек HBr	0,141	Күкүрт S ₂	0,189
Калий бромиди KBr	0,294	Көмүртек C ₂	0,131
Суутек H ₂	0,074	Фосфор P ₂	0,189
Литий гидриди LiH	0,159	Фтор F ₂	0,143
Иод I ₂	0,267	Фтордуу суутек HF	0,092
Иоддуу суутек HI	0,160	Хлор Cl ₂	0,199
Калий K ₂	0,392	Калий хлориди KCl	0,279

Т.16 Абанын молекулаларынын орточо эркин жол узундугу

Таблицада абанын молекулаларынын Жердин бетинен түрдүү h бийиктиктеги орточо эркин жол узундугу λ көрсөтүлгөн

$h, м$	$\lambda, м$	$h, м$	$\lambda, м$	$h, м$	$\lambda, м$
0	$6,633 \cdot 10^{-8}$	1000	$7,309 \cdot 10^{-8}$	30000	$4,413 \cdot 10^{-6}$
50	$6,665 \cdot 10^{-8}$	2000	$8,072 \cdot 10^{-8}$	40000	$2,034 \cdot 10^{-5}$
100	$6,697 \cdot 10^{-8}$	3000	$8,936 \cdot 10^{-8}$	50000	$7,913 \cdot 10^{-5}$
200	$6,762 \cdot 10^{-8}$	4000	$9,917 \cdot 10^{-8}$	70000	$9,801 \cdot 10^{-4}$
300	$6,827 \cdot 10^{-8}$	5000	$1,103 \cdot 10^{-7}$	90000	$2,377 \cdot 10^{-2}$
400	$6,894 \cdot 10^{-8}$	10000	$1,965 \cdot 10^{-7}$	100000	$1,439 \cdot 10^{-1}$
500	$6,961 \cdot 10^{-8}$	20000	$9,139 \cdot 10^{-7}$	120000	2,925

Т.17 Газдын молекулаларынын кагылышууларынын жыштыгы

Таблицада газдын бир молекуласынын ошол эле газдын башка молекулалары менен 1с ичиндеги кагылышууларынын орточо жыштыгы ν көрсөтүлгөн (нормалдуу шарттарда жана $t=25^{\circ}C$, нормалдуу $P_0=101325$ Па кезинде)

Газ	$\nu, 10^7 c^{-1}$ ($P_0=101325$ Па)		Газ	$\nu, 10^7 c^{-1}$ ($P_0=101325$ Па)	
	$0^{\circ}C$	$25^{\circ}C$		$0^{\circ}C$	$25^{\circ}C$
Азот	721	708	Кычкылтек	672	626
Аргон	614	596	Криптон	542	514
Суутек	1533	1443	Ксенон	602	558
Аба	747	698	Неон	431	407
Гелий	685	649	Көмүртек оксиди (IV)	934	861

Т.18 Суюктуктардын беттик тартылуусу

($\sigma, t=20^{\circ}C$, суюктук-аба чегинде)

Суюктук	$\sigma, мН/м$	Суюктук	$\sigma, мН/м$
Ацетон	23,7	Сымап	472
Суу	72,75	Этил спирти	22,0
Глицерин	63	Этил эфири	17,0
Керосин	24	Канттын (20%) суудагы (63%) эритмеси	76,5
Самын эритмеси	40		79,6
Нефть	30		

Т.19 Түрдүү (t) температуралардагы суунун аба менен чектешкен бетиндеги тартылуу коэффициенттери (σ)

t, °C	σ, мН/м	t, °C	σ, мН/м	t, °C	σ, мН/м
0	75,62	15	73,48	24	72,12
5	74,90	16	73,34	25	71,96
6	74,76	17	73,20	30	71,15
8	74,48	18	73,05	40	69,55
10	74,20	19	72,89	50	67,90
11	74,07	20	72,75	60	66,17
12	73,92	21	72,60	70	64,41
13	73,78	22	72,44	80	62,60
14	73,64	23	72,28	90	60,74
				100	58,84

Т.20 Суюктуктардын түрдүү температуралардагы динамикалык илешимдүүлүктөрү

Суюктук	t, °C	η, мкПа с	Суюктук	t, °C	η, мкПа с
Суу	0	1788	Кастор майы	10	242·10 ⁴
Суу	20	1004	Трансформатор майы	20	19800
Глицерин	-20	134·10 ⁶	Бал	20	650·10 ⁴
Глицерин	0	121·10 ⁵	Бал	100	100·10 ³
Глицерин	20	14,99·10 ⁵	Этил эфири	0	296
Глицерин	100	12945	Этил эфири	20	243
Глицерин	200	216			

Т.21 Металлдардын жана куймалардын сызыктуу кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенттери

Таблицада айрым металлдардын жана куймалардын сызыктуу кеңейүүсүнүн температуралык коэффициентинин 20°C кезиндеги жана температуранын 0 дон 100°C га жана 0 дон 600°C га чейинки интервалдарындагы орточо маанилери келтирилди.

Металл, куйма	$\alpha, 10^{-6} \cdot \text{C}^{-1}$		
	20°C	$0 \div 100^{\circ}\text{C}$	$0 \div 600^{\circ}\text{C}$
Алюмель	13,7	-	-
Алюминий	22,4	23,8	29
Коло	17,0 ÷ 19,6	-	-
Вольфрам	4,5	4,5	4,7
Темир	11,7	12,2	14,5
Алтын	14,2	14,3	15,5
Инвар	-	1,5	-
Константан	14,4	15,2	-
Латунь	17,0-21,2	-	-
Литий	56,0	60,0	-
Жез	16,2	17,1	-
Никель	12,6	13,6	18,9
Нихром	13,0	-	15,6
Калай	21,4	26,2	-
Платина	8,9	9,1	9,6
Коргошун	27,6	29,2	-
Күмүш	19,5	19,6	21,0
Болот (0,05% C)	11	12,0	14,2
Чоюн	-	10,0	-

Т.22 Суюктуктардын көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенттери ($t=20^{\circ}\text{C}$)

Суюктук	$\beta, 10^{-6} \text{C}^{-1}$	Суюктук	$\beta, 10^{-6} \text{C}^{-1}$
Ацетон	1487	Сымап	181
Суу	208	Сымап ($0 \div 100^{\circ}\text{C}$)	182
		Этил спирти	1100
Глицерин	505	Трансформатор майы	600
Керосин ($0 \div 100^{\circ}\text{C}$)	400	Этил эфири	1650
Мазут ($0 \div 100^{\circ}\text{C}$)	600	Авиабензин (Б-70)	1100
Нефть ($0 \div 100^{\circ}\text{C}$)	700 ÷ 1000		

Т.23 Суунун көлөмдүк кеңейүүсүнүн температуралык коэффициенти

(түрдүү температуралардагы β)

Суунун температурасы, $^{\circ}\text{C}$	β , 10^{-6}C^{-1}	Суунун температурасы, $^{\circ}\text{C}$	β , 10^{-6}C^{-1}
0	-63	50	460
1	-49	60	530
2	-31	80	630
3	-15	90	700
4	0,0	100	750
5	17	150	1030
10	95	200	1350
20	208	300	2950
30	300	340	4750
40	390		

Т.24 Газдардын салыштырма жылуулук сыйымдуулуктары

($t=200\text{C}$, $P=101325\text{Па}=1\text{атм}$)

Газ	C_p		C_v		$\frac{C_p}{C_v}$
	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	
Азот	1,051	0,251	0,745	0,178	1,40
Аммиак	2,244	0,536	1,675	0,400	1,31
Аргон	0,523	0,125	0,322	0,077	1,67
Суутек	14,269	3,408	10,132	2,42	1,41
Аба	1,009	0,241	0,720	0,172	1,40
Кычкылтек	0,913	0,218	0,653	0,156	1,40
Метан	2,483	0,593	1,700	0,406	1,31
Көмүртек оксиди (II)	1,047	0,250	0,754	0,180	1,40
Көмүртек оксиди(IV)	0,837	0,200	0,653	0,156	1,30
Пропан	1,863	0,445	1,650	0,344	1,13

**Т.25 Суюктуктардын, суюк жана катуу абалдагы
металлдардын, катуу заттардын салыштырма жылуулук
сыйымдуулуктары**

Суюктуктар, суюк металлдар	t, °C	C	
		$\frac{кДж}{кг \cdot К}$	$\frac{ккал}{кг \cdot ^\circ C}$
Ацетон	20	2,160	0,516
Суу	20	4,182	0,999
Глицерин	20	2,43	0,58
Трансформатор майы	0-100	1,88	0,45
Сымап	20	0,1390	0,0332
Этил спирти	20	2,47	0,59
Этил эфири	20	2,34	0,56
Калай (суюк)	250	0,243	0,058
Коргошун (суюк)	327,5	0,163	0,039
Коргошун (катуу)	0-100	0,131	0,031
Алюминий	0-100	0,909	0,217
Темир	0-100	0,465	0,111
Жез	0-100	0,388	0,0926
Никель	0-100	0,452	0,108
Күмүш	0-100	0,245	0,0562
Латунь	20	0,39-0,41	0,043-0,098
Болот	20-200	0,46	0,11
Чоюн	0-200	0,54	0,13

Т.26 Таза металлдардын жана айрым куймалардын түрдүү температуралардагы жылуулук өткөрүмдүүлүктөрү

Металл	t, °C	λ	
		$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$\frac{ккал}{м \cdot саат \cdot ^\circ C}$
Алюминий	0	209	180
Алюминий	100	207	178
Темир	20	73,3	63,0
Темир	100	65,7	58,0
Жез	0	395,4	340
Жез	100	392	337
Никель	0	93	80
Никель	100	82,6	71,0
Калай	0	66,1	56,8
Калай	100	59,3	51,0
Коргошун	0	35,1	30,2
Коргошун	100	33,4	28,7
Күмүш	0	418,7	360,0
Күмүш	100	416,4	358,0
Дуралюминий	20	160	142
Латунь	20	106	91
Нихром	20	16,7	14,4
Болот	20	45-58	39-50
Чоюн	20	58	50

Т.27 Түрдүү заттардын жана элементтердин эрүү температуралары, эрүүнүн салыштырма жылуулуктары
($P = 101325 \text{ Па} = 1 \text{ атм}$)

Зат	Эрүү температурасы		λ	
	К	$^{\circ}\text{C}$	кДж/кг	ккал/кг
Суу (муз)	273,15	0,00	332,4	79,4
Глицерин	255,3	-17,9	198,9	475
Болот	1600,1800	1300,1500		
Натрий хлориди (аш тузу)	1073	800	519	124
Чоюн	1400,1600	1100,1300		
Вольфрам	3694	3421	185	61
Темир	1812	1539	270,0	64,6
Алтын	1337,58	1064,43	67	16
Кремний	1690	1417		
Жез	1358,03	1084,88	213	51
Никель	1728	1455,	305,6	73,0
Калай	505,1181	231,9681	58,2	13,9
Сымап	134,188	-38,862	11,7	2,8
Коргошун	600,65	327,50	24,3	5,8
Күмүш	1235,08	961,93	87,3	21,1

Т.28 Түрдүү заттардын нормалдуу атмосфералык басымдагы кайноо температуралары жана буга айланууларынын салыштырма жылуулуктары

Зат	Кайноо температурасы		r	
	К	$^{\circ}\text{C}$	кДж/кг	ккал/кг
Ацетон	329,7	56,5	521,2	124,5
Суу	373,15	100,00	2256	539,0
Аба	81-78	-192-195	197	47
Глицерин	563,2	200,0	830	197
Этил спирти	351,5	78,3	906,0	216,4
Этил эфири	307,7	34,5	355	84,8

**Т.29 Түрдүү температуралардагы каныккан суу буусунун
басымы жана тыгыздыгы**

$t, ^\circ\text{C}$	P		$\rho \text{ г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	P		$\rho \text{ г/м}^3$
	кПа	мм. сым. мам.			кПа	мм. сым. мам.	
-20	0,103	0,772	0,88	16	1,817	13,63	13,65
-10	0,259	1,95	2,14	17	1,937	14,53	14,50
-5	0,401	3,01	3,25	18	2,062	15,47	15,39
-4	0,437	3,28	3,53	19	2,196	16,47	16,32
-3	0,463	3,47	3,83	20	2,337	17,53	17,35
-2	0,517	3,88	4,14	21	2,486	18,65	18,35
-1	0,563	4,22	4,49	22	2,642	19,82	19,44
0	0,611	4,58	4,85	23	2,809	21,07	20,60
1	0,656	4,92	5,20	24	2,984	22,38	21,81
2	0,705	5,59	5,57	25	3,168	23,76	23,07
3	0,757	5,68	5,95	26	3,361	25,21	24,40
4	0,813	6,10	6,37	27	3,565	26,74	25,79
5	0,872	6,54	6,80	28	3,780	28,35	27,26
6	0,935	7,01	7,27	29	4,05	30,04	28,7
7	1,005	7,54	7,70	30	4,242	31,82	30,3
8	1,072	8,04	8,28	40	7,376	55,32	51,2
9	1,148	8,61	8,83	50	12,333	92,51	83,2
10	1,227	9,20	9,41	60	19,915	149,38	130,5
11	1,312	9,84	10,02	70	31,158	233,71	198,4
12	1,401	10,51	10,67	80	47,302	355,12	354,1
13	1,497	11,23	11,36	90	70,093	525,76	424,1
14	1,597	11,98	12,08	100	101,325	760,00	598,0
15	1,704	12,78	12,84	200	1555	11664	7099

Т.30 Психрометрдик таблица

Кургак термометрдин көрсөтүүсү °С	«Кургак» жана «ным» термометрлердин көрсөтүүлөрүнүн айырмасы, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Салыштырма нымдуулук										
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-
1	100	83	65	48	32	16	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
3	100	84	69	54	39	24	10	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
5	100	86	72	58	45	32	19	6	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
7	100	87	74	61	49	37	26	14	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
9	100	88	76	64	53	42	34	21	11	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Мисал: Кургак термометр 21⁰С ны, ал эми ным термометр 18⁰С ны көрсөтсүн, б.а. көрсөтүүлөрүнүн айырмасы 3⁰С болсун. Таблицадагы 21⁰Сга туура келген жолчонун жана 3⁰Сга туура келген мамычанын кесилишинен берилген учурдагы абанын салыштырма нымдуулугу 75%ти түзөрүн көрөбүз.

**Т.31 М.В.Ломоносов атындагы Москва Мамлекеттик
 Университетинин (Россия) Жалпы физика кафедрасында
 даярдалып видеого (DVD ге) түшүрүлгөн физикалык лекциялык
 демонстрациялар:**

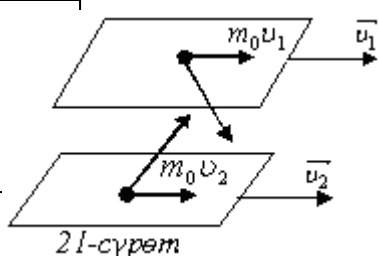
МОЛЕКУЛАЛЫК ФИЗИКА - 1

Жолчо нун №	Тажырыйбалар	убакыт
1	2	3
	1. Молекулалык-кинетикалык теория. Идеалдуу газ.	
1	1.1 Биномдук бөлүштүрүү	0.00.00
	-N=2	0.00.22
	-N=3	0.05.21
	-N=4	0.07.11
2	1.2 Нормалдык бөлүштүрүү. Гальтондун доскасы	0.09.30
3	1.3 Идеалдуу газ модели. Эйхенвальддын тажрыйбасы	0.11.10
4	1.4 Оордук күчүнүн талаасындагы молекулалардын бөлүштүрүлүүсү.	0.19.36
5	1.5 Газдын басымынын бийиктикке жараша өзгөрүшү	0.23.05
6	1.6 Температураны өлчөө. Газ термометринин модели.	0.26.25
7	1.7 Температураны өлчөө.	0.28.20
8	1.8 Басымды өлчөө.	
	-U – түрүндөгү манометр	0.31.53
9	-Бурдондун манометри	0.35.33
10	2. Газдардагы ташуу кубулуштары.	
	2.1 Газдардын илешимдүүлүгү.	0.36.47
11	2.2 Газдардын илешимдүүлүгүнүн температурадан көз карандылыгы.	0.38.24
12	2.3 Газдын илешимдүүлүгүнүн басымдан көз карандылыгы.	0.40.56
13	2.4 Абанын жана метандын жылуулук өткөрүмдүүлүктөрүн салыштыруу.	0.48.54
14	2.5 Газдын жылуулук өткөрүмдүүлүгүнүн басымдан көз карандысыздыгы.	0.51.14
15	2.6 Диффузиянын модели.	0.54.44
16	2.7 Бромдун буусунун диффузиясы.	0.57.06
17	2.8 Көңдөйлүү (борпоң) тосмо аркылуу газдын эффузиясы.	0.59.35
18	3. Реалдуу газдар жана суюктуктар.	
	3.1 Көмүр кычкыл газын суюктукка айландыруу. Кальтетенин тажрыйбасы.	1.02.40
19	3.2 Метанды суюктукка айландыруу.	1.09.20
20	3.3 Аба адиабаттык кеңейгенде тумандын пайда болушу.	1.12.10

1	2	3
21	3.4 Эфирдин критикалык абалы.	1.14.50
22	3.5 Джоуль-Томсондун эффекти.	1.19.23
23	4. Жылуулук жана жумуш.	
	4.1 Жумуштун жылуулукка айланышы.	1.21.43
	-Тиндалдын тажрыйбасы	1.21.53
24	-Дөшүдөгү коргошун.	1.23.35
25	-Аба оттору	1.25.05
26	4.2 Жылуулуктун жумушка айланышы.	1.26.40
27	4.3 Жылуулук кыймылдаткычтарынын моделдери.	1.27.30
	-Резина спицалуу дөңгөлөк.	1.27.35
28	-Суу ичкен өрдөк.	1.29.45
29	-Дарлингдин тажрыйбасы.	1.32.40
30	-Бенардын уячалары.	1.34.55

МОЛЕКУЛАЛЫК ФИЗИКА – 2

Жолчо нун №	Тажырыйбалар	Убакыт
1	2	3
1	5. Беттик кубулуштар.	
	5.1 Платонун тажрыйбасы	1.37.25
2	5.2 Беттик тартылуунун өзгөрүшү	1.39.33
	-Жасалма “амеба”	1.39.40
3	-Камфоранын суудагы кыймылы	1.42.30
4	-Сымаптын «жандуу» тамчылары	1.44.05
5	5.3 Самындын көбүкчөлөрү жана пленкалары	1.45.45
	-Басымдын радиустан көз карандылыгы	1.45.50
6	-Боектордогу пленкалар	1.47.50
7	-Самын пленкасынын жумушу	1.51.35
8	5.4 Капиллярдык кубулуштар	1.53.13
	-Капиллярлар	1.53.20
9	-Шынаа	1.54.28
10	-Капиллярдык күчтөр	1.57.15
11	5.5 Нымдоо жана нымдабоо	1.58.40
12	6. Фазалык өтүүлөр	
	6.1 Буулануу жылуулугу	2.01.20
13	6.2 Насостун капкагынын астындагы суунун кайнашы	2.02.50
14	6.3 Кайнап жаткан суунун тоңушу	2.06.25
15	6.4 Муздаганда кайноо	2.12.00
16	6.5 Азоттун пленкалуу жана көбүкчөлүү кайнашы	2.14.00
17	6.6 Өтө ысытылган суунун кайнашы	2.18.15
18	6.7 Катуу көмүр кислотасынын бууланышы	2.20.17



		2	3
		шатырдын кургак буулануусу	2.23.03
		мап балкасы	2.24.00
21	6.10	Өтө муздатылган гипосульфаттын кристаллдашуусу	2.29.25
		-Кристаллдашуу жылуулугу	2.29.30
22		-Гипосульфаттын кристаллдарынын өсүшү	2.32.37
23	6.11	Парафиндин эрүү температурасынын басымдан көз карандылыгы.	2.36.08
24	7.	Катуу заттардын касиеттери	
	7.1	Торчонун жылуулук кыймылынын модели	2.38.14
25	7.2	Металлдын жылуулуктан кеңейиши	2.38.46
26	7.3	Муздатканда катуулугунун жогорулашы	2.40.27
		-Резинанын морттугу	2.40.33
27		-Резина жана коргошун коңгуроолору	2.41.36
28	7.4	Металлдардын жылуулук өткөрүмдүүлүгү	2.42.36
29	7.5	Стерженди бойлото жылуулуктун таралышынын динамикасы	2.46.20
30	7.6	Металлдардын жылуулук сыйымдуулугу	2.52.17
31	7.7	Молекулалар аралык күчтөр. Иогансондун плиткалары.	2.58.15